Biología básica

Bachillerato Plan 2009

Alma Rebeca Galindo Uriarte
Roberto C. Avendaño Palazuelos
Amada Aleyda Angulo Rodríguez



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
DIRECCIÓN GENERAL DE ESCUELAS PREPARATORIAS

Biología básica

Primer semestre
8ª edición

UAS-DGEP

Biología básica. ***Primer año***

Diseño de portada:
Joao Enrique Peña de Lima

Diseño de interiores:
Irán Ubaldo Sepúlveda León

Corrección de estilo y cuidado de edición:
Juana María Alvarez Vega

1ª edición, 2003.
2ª edición, 2005.
3ª edición, 2006.
4ª edición, 2007.
5ª edición, 2009.
6ª reimpresión, 2010.
7ª reimpresión, 2011.
8ª edición, 2012.

Universidad Autónoma de Sinaloa
Dirección General de Escuelas Preparatorias
Academia Estatal de Biología
Circuito interior oriente s/n
Ciudad Universitaria,
Culiacán Rosales, Sinaloa, México. C.P. 80010
Tel: 667 -712-16-56, Fax 7 12-16-53; ext. 111.

Presentación

La edición de este libro *Biología básica* forma parte del programa de apoyo bibliográfico que la Dirección General de Escuelas Preparatorias de la Universidad Autónoma de Sinaloa ha implementado en la idea de lograr avances significativos en los programas de estudios correspondientes. Es una herramienta fundamental para el estudio de la asignatura de biología de nuestros alumnos y, además, una guía para el maestro.

En la unidad I, de manera resumida hemos expuesto un poco de la historia del pensamiento biológico, concretando los antecedentes del mecanicismo (o fisicismo) y su exponente más conocido: René Descartes, quien sostenía que los organismos vivos no eran diferentes de la materia inanimada. El bando contrario, el vitalismo, corriente del pensamiento de la época del siglo XIX, argumentaba que los conceptos biológicos y teorías acerca de los seres vivos no se podían reducir a las leyes de la física y de la química. Ya en el siglo XX se tuvieron que conjugar estos principios en una nueva corriente del pensamiento biológico, el organicismo, actual teoría explicativa de los fenómenos biológicos.

Siguiendo las reflexiones acerca de los organismos vivos, revisamos las características que distinguen a la vida, partiendo de la consideración de que los organismos vivos son sistemas ordenados jerárquicamente con numerosas propiedades emergentes que no se observan en el mundo inanimado, y que sus actividades están gobernadas por programas genéticos que contienen información adquirida a lo largo del tiempo.

La biología es una ciencia equiparable a las ciencias físicas, basadas en la observación, experimentación y prueba de hipótesis, acorde a las propuestas del método científico aceptado universalmente. Este tema se aborda al final de la primera unidad.

En la unidad II revisamos de manera general que las propiedades y estructuras aparentemente únicas de la materia viva se pueden explicar en términos de las propiedades de las macromoléculas y su organización. Estos tipos de moléculas responsables del desarrollo y funcionamiento de los organismos vivos (ácidos nucleicos, péptidos, enzimas, hormonas y componentes de membranas) son macromoléculas que no existen en la materia no viva.

Uno de los instrumentos que tuvo gran impacto en el desarrollo del conocimiento biológico es el microscopio, que cada vez más perfeccionado ha permitido el desarrollo de nuevas disciplinas biológicas, como es el caso del estudio de la célula, disciplina conocida bajo el nombre de *citología*. En el desarrollo de la citología han participado por igual estudiosos tanto de plantas como de animales o de cualquier otro reino de la naturaleza. Así, por ejemplo, el botánico Robert Brown descubrió el núcleo de la célula; el zoólogo Schwann, junto con el botánico Schleiden, propuso la teoría celular, que pronto fue corregida y ampliada por el médico Virchow. Estos y otros hallazgos los veremos en la unidad III, dedicada al estudio de la célula, la unidad de la vida.

Un paradigma* histórico, el descubrimiento de las leyes de la herencia por parte de un maestro de la asignatura de ciencias en el bachillerato de la Universidad de Viena, Gregorio Mendel, es uno de los ejemplos más claros del rigor del método científico. Mendel formuló hipótesis a partir de sus observaciones, examinó su consistencia con resultados previos, comprobando experimentalmente sus dos principios conocidos como Ley de la segregación y Ley de la distribución independiente, tal como se presenta en la unidad IV.

El origen evolutivo de los organismos es hoy una conclusión científica establecida; es decir, es un hecho aceptado por lo biólogos y por todas las personas bien informadas en este tema. Charles Darwin, el fundador de la teoría moderna de la evolución, acumuló evidencias para convencer a los científicos del siglo XIX de que los seres vivos son descendientes modificados de antepasados comunes. Poco después de que Darwin presentara su teoría, y todavía a principios del siglo XX, los evolucionistas se dedicaban a buscar evidencias a favor y en contra de la evolución. Actualmente, los estudiosos de la evolución tienen como objeto de estudio determinar las causas y la historia de la evolución. En la unidad V veremos el estado actual de los conocimientos acerca del hecho y las causas de la evolución.

El texto inicia con una evaluación diagnóstica donde se revisarán los conocimientos previos que se considera deben de poseer los alumnos al inicio del curso.

También cada unidad cuenta a su término con una autoevaluación cuyo fin es reflejar el avance logrado por el estudiante. Es importante que los alumnos comparen y discutan sus respuestas.

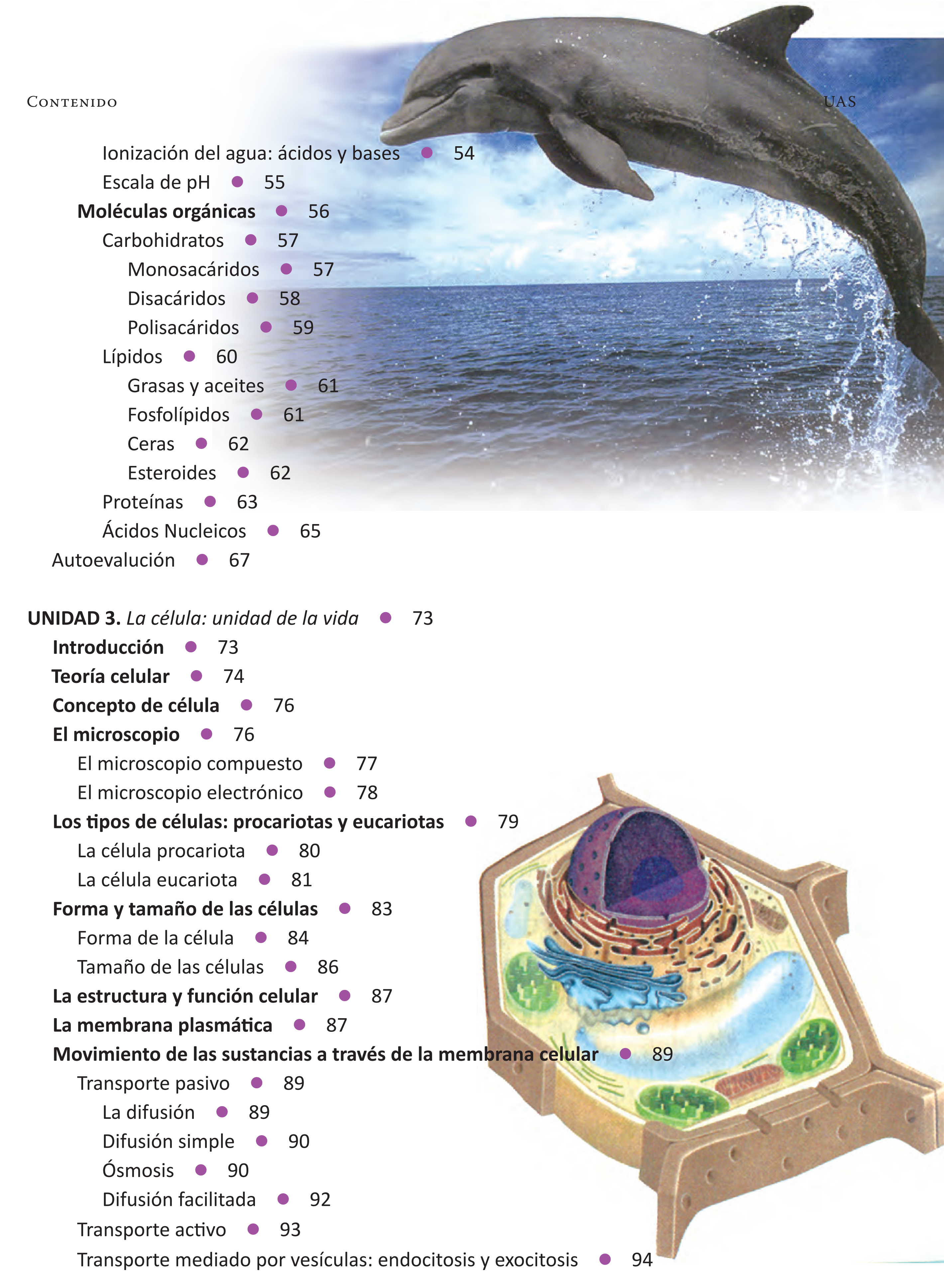
Al final del texto se presenta una serie de diez sencillas actividades de laboratorio cuya realización es básica ya que complementan el conocimiento de los temas biológicos aqui tratados.

Esperamos que el libro sea una herramienta muy útil, tanto para los estudiantes como para los profesores, durante el desarrollo del curso.

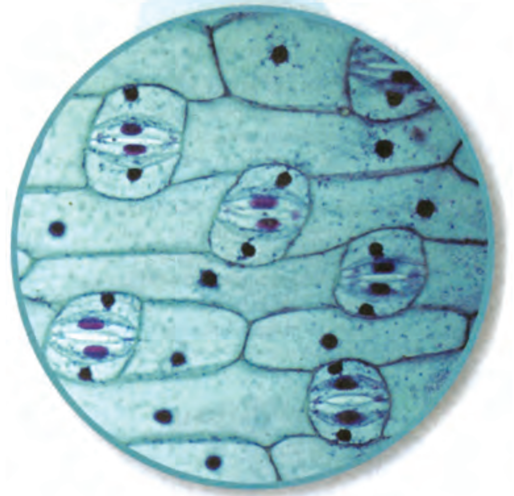
Los autores

* Concepto que explica un conjunto de fenómenos.

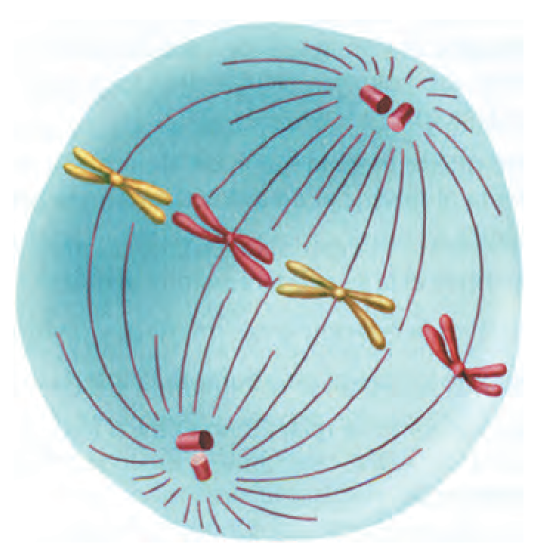
CONTENIDO



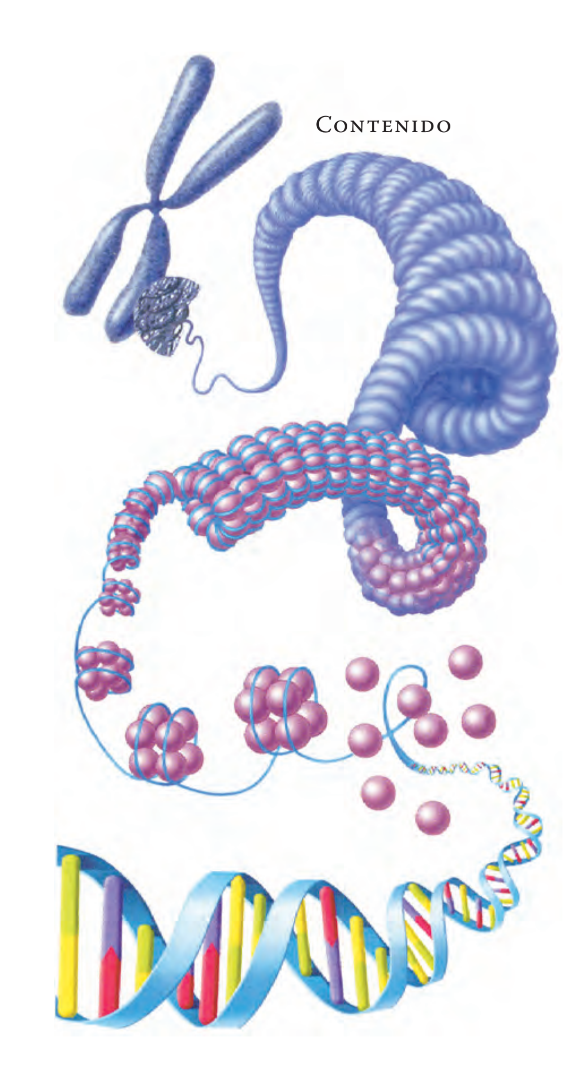






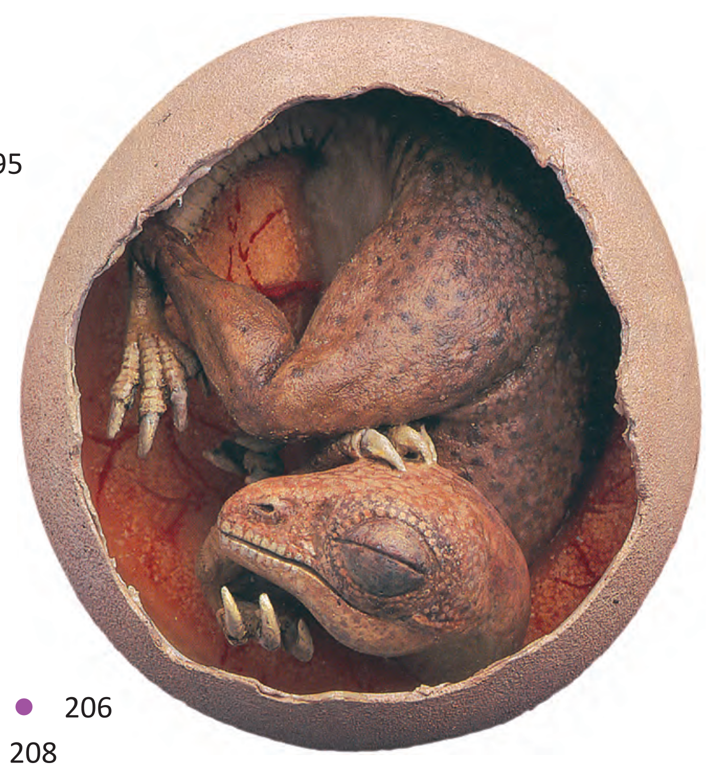












Evaluación diagnóstica

Completa correctamente los siguientes enunciados

1. Son los seis elementos químicos formadores de los seres vivos, requeridos en mayor cantidad _____________, _____________, _____________, _____________, _____________ y _____________.

2. Son los reinos de la naturaleza:________________, ________________, _________________, ________________, ________________ y ________________.

3. La _____________________________ es la unidad anatómica, fisiológica y de origen de los seres vivos.

4. En las células _______________________ el ADN está disperso en el citoplasma ya que no poseen membrana nuclear.

5. La _________________ es el proceso que realizan los cloroplastos para elaborar el alimento de las plantas y liberar oxigeno.

6. Principales diferencias estructurales entre la célula vegetal y la animal.
   ____

7. El _____________________, _____________________y la _____________________ son polisacáridos formados por la unión de muchas moléculas de glucosa.

8. Las proteínas son biomoléculas constituidas por la unión de _____________________.

9. La rama de la biología que estudia la herencia es _______________________.

10. Los ácidos nucleicos son _____________________ y el _____________________.

11. Número total de cromosomas de la especie humana: ____________________.

12. En los cromosomas se encuentran los ____________________ que son los que determinan las características que tendrá un organismo.

Correlaciona las columnas:

( )	Biomoléculas que son el principal combustible de las células.	1. Agua
( )	Son las moléculas de la información.	2. Calcio
( )	Son moléculas de usos múltiples (estructural, enzimático, anticuerpos, etc.)	3. Carbohidratos
( )	Son moléculas de reserva energética, son ejemplos los aceites y las grasas.	4. Ácidos nucleicos
( )	En la molécula de ADN, la citosina se une a la…	5. Adenina
( )	Son partículas formadas por proteínas y ácidos nucleicos, responsables de la influenza, viruela, etc.	6. Enzimas
( )	Son las proteínas que regulan las reacciones químicas en las células.	7. Virus
( )	Molécula que está presente en la mayoría de las reacciones químicas de la célula y es el medio de eliminación de los productos de desecho del organismo.	8. Guanina
		9. Lípidos
( )	Mineral que fortalece los huesos y los dientes.	10. Proteínas

Subraya la respuesta correcta:

1. ¿Cuál de las siguientes son características de los seres vivos?
   a) Son complejos y organizados
   b) Responden a estímulos
   c) Se reproducen
   d) Todas las anteriores

2. Regula los intercambios de sustancias entre la célula y el medio que la rodea:
   a) Pared celular
   b) Membrana plasmática
   c) Aparato de Golgi
   d) Mitocondrias

3. Estructuras alargadas que contienen la información genética.
   a) Ribosomas
   b) Lisosomas
   c) Cromosomas
   d) Vacuolas

4. Las células necesitan energía para realizar sus funciones. Para obtenerla las células respiran y lo hacen mediante sus:
   a) Cloroplastos
   b) Mitocondrias
   c) Retículos endoplásmicos
   d) Ribosomas

5. El cuerpo de las plantas y animales está organizado por niveles, ordenados de menor a mayor complejidad son:

a) Órgano, tejido, célula y sistema
b) Tejido, sistema, célula y órgano
c) Célula, tejido, órgano y sistema
d) Tejido, célula, órgano y sistema

6. Proceso por el cual una célula se divide en dos células hijas con el mismo número de cromosomas.

a) Mitosis
b) Meiosis
c) Organogénesis
d) Partenogénesis

7. ¿Cuál de los siguientes es una fósil?

a) Un tronco petrificado
b) Un mamut congelado
c) Un insecto atrapado en ámbar
d) Todas las anteriores

8. ¿Cuál es la era geológica actual?

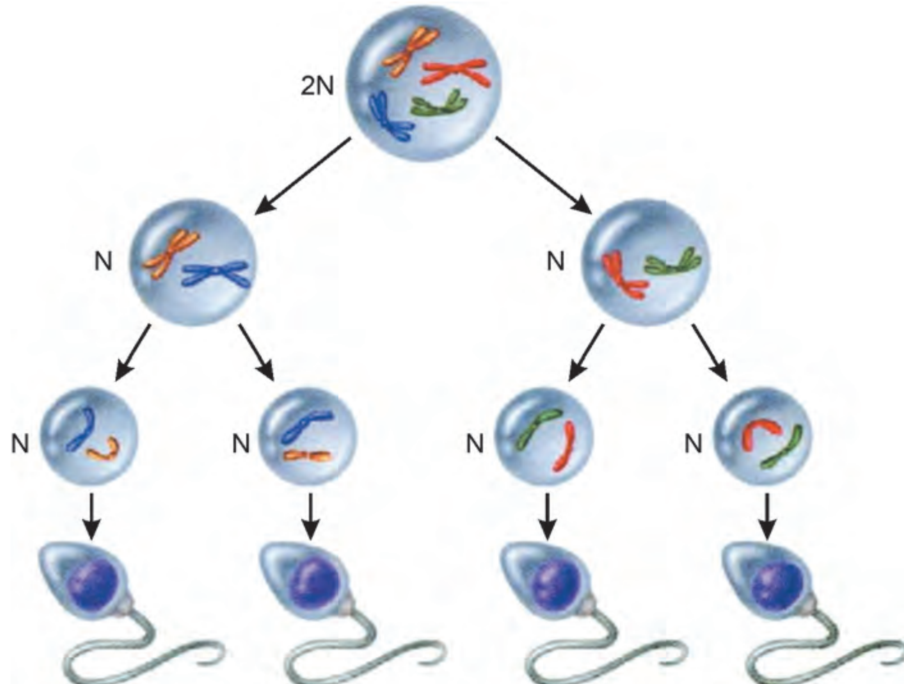
a) Mesozoica
b) Paleozoica
c) Cenozoica
d) Arqueozoica

9. Autor de la teoría de la evolución por selección natural.

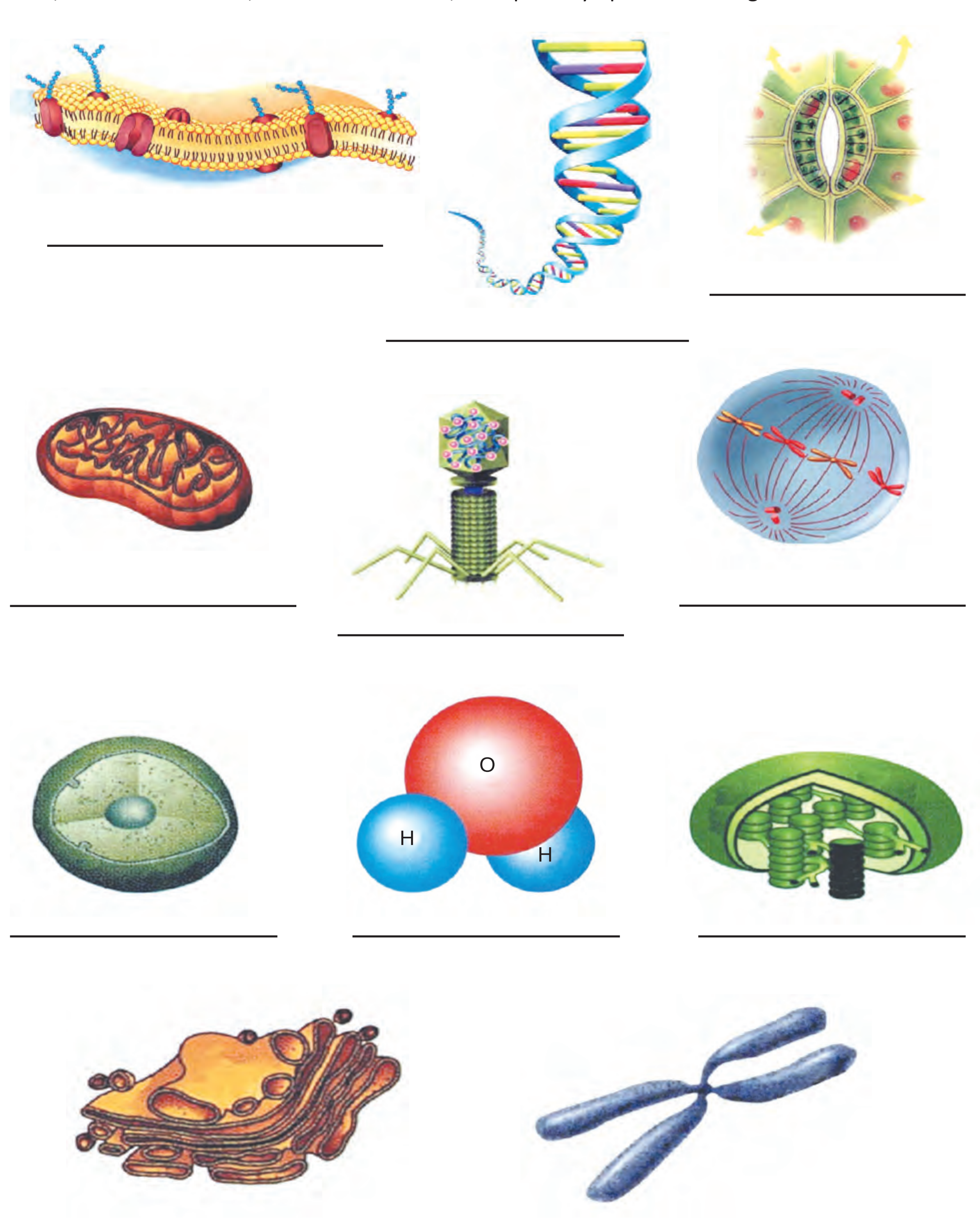
a) Charles Lyell
b) Charles Darwin
c) Thomas Malthus
d) Lamarck

10. El siguiente esquema nos representa la división celular conocida como:

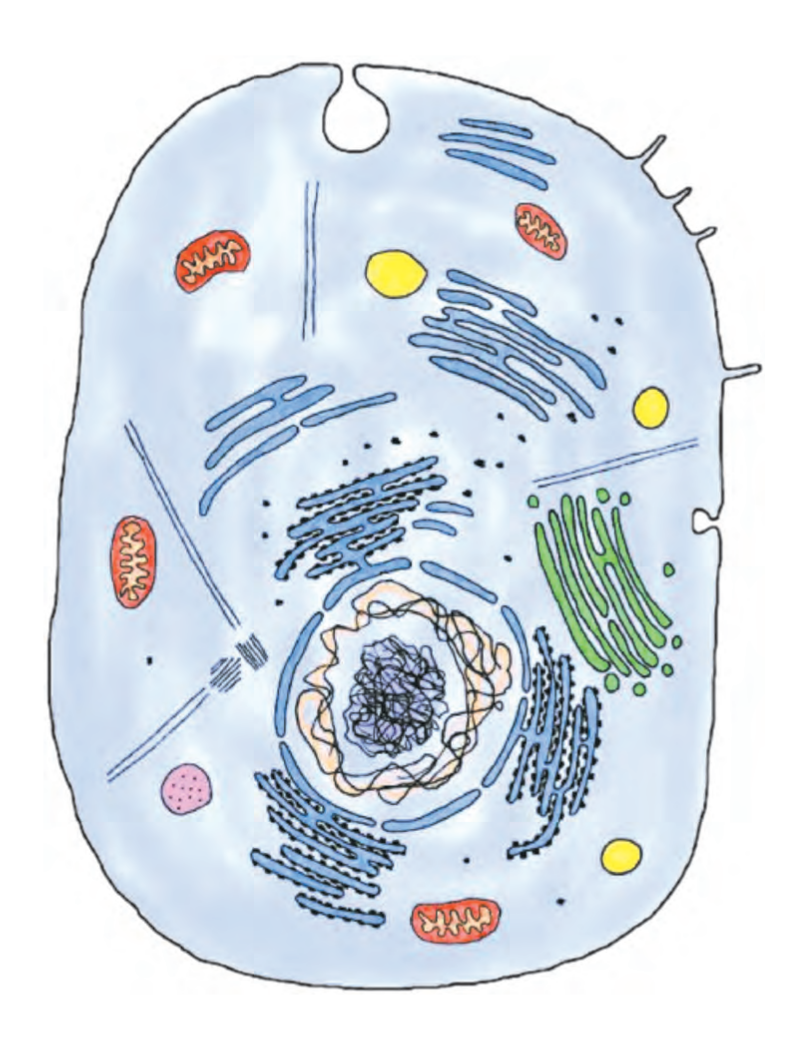
a) Mitosis
b) Meiosis
c) Metafase
d) Reproducción asexual



A continuación se te muestran algunos esquemas y una lista de sus posibles nombres. Identifícalos: molécula de agua, virus, estoma, núcleo, mitocondria, cromosoma, molécula de ADN, membrana celular, célula en metafase, cloroplasto y aparato de Golgi.



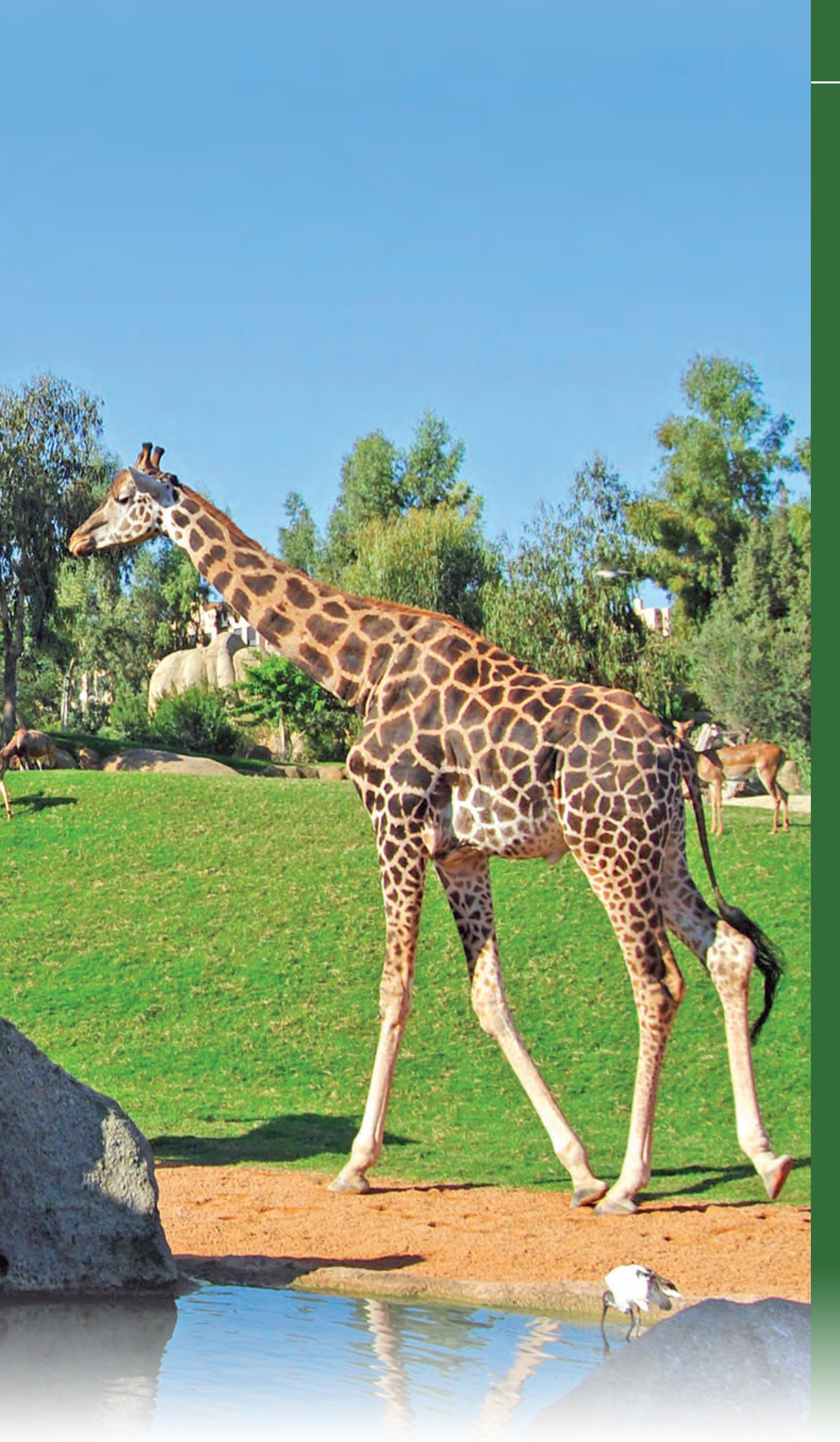
Rotula la figura señalando los siguientes organelos: membrana plasmática, aparato de Golgi, retículo endoplásmico rugoso, retículo endoplásmico liso, ribosomas, mitocondria, membrana nuclear, lisosoma, cromatina, citoplasma y centríolos.



Nota: Algunos ejercicios de la evaluación diagnóstica fueron tomados y otros fueron adaptados de los siguientes libros: Martínez, M., Cortés L. y Lujan, E. *Maravillas de la Biologia 2*, McGraw-Hill, México, 2006. Miller, K. y Levine, J. *Biología 1. La naturaleza de la vida.* Pearson educacion, México, 2007.



La jirafa es un mamífero africano que actualmente se le encuentra en casi todos los zoológicos del mundo. Su largo cuello le sirve para ramonear el follaje a bastante altura.



UNIDAD 1

Introducción a la biología

Introducción a la biología

¿Por qué estudiar biología?

De manera muy general, podemos decir que existe una razón que domina sobre todas las demás:

Conocernos mejor a nosotros mismos y conocer más al mundo en que vivimos.

La **biología**, como ya sabemos consiste en el estudio integral de los seres vivos. A nivel social, el grado de conocimiento de los seres vivos y sus manifestaciones es un indicador del avance de la población humana. Los saberes acerca de los seres vivos y su diversidad es fundamental para el desarrollo de cualquier cultura. Siempre hemos querido saber acerca de los seres vivos que pueden ser fuente de alimento o fuente de medicamentos o de qué organismos nos tenemos que cuidar pues pueden causarnos algún daño o enfermedad. Es una preocupación actual el saber cómo estamos interaccionando nosotros como especie humana con el resto de los seres vivos; cómo está influyendo el ser humano en las poblaciones vegetales, animales y microscópicas, y en general, con el medio ambiente.

Nuestra moderna civilización es posible debido a nuestro progresivo conocimiento de la materia viva. Por ejemplo, los conocimientos sobre la genética pueden ser usados para incrementar el aprovisionamiento mundial de alimentos de origen vegetal y animal al llevarse a cabo el mejoramiento de variedades de plantas alimenticias y de ganadería. El estudio de la célula (estructura y función) nos lleva a importantes avances en la medicina al desarrollar nuevos fármacos que nos ayudan a enfrentar las enfermedades que han sido o son azote de la humanidad. El conocimiento de la biología es también fundamental para entender las preocupaciones y controversias de actualidad acerca del crecimiento poblacional, las epidemias modernas como el SIDA, así como las promesas y riesgos que conlleva proyectos como el del genoma humano. Los aspectos sobre el medio ambiente, estudiados por la ecología nos ayudan a conocer las causas que actualmente dañan nuestro mundo y asi poder tomar las medidas necesarias para su conservación.

Deberíamos también anotar que ciertas carreras profesionales productivas y retributivas pueden edificarse sobre el conocimiento de la biología. Los laboratorios de las universidades siempre demandan más hombres y mujeres para realizar nuevos descubrimientos. También se necesitan profesionales que apliquen sus conocimientos de biología en actividades como la medicina, la investigación agrícola y el desarrollo industrial. Se continuarán necesitando profesores de biología que transmitan a las nuevas generaciones el conocimiento adquirido por las precedentes.

Todo ciudadano podrá participar más efectivamente en una democracia siempre y cuando pueda pronunciarse y votar inteligentemente sobre cuestiones que impliquen tanto principios biológicos como el bienestar humano y esto sólo lo logrará al tener una serie de conocimientos,



Figura 1.1 Un ecólogo realizando trabajo de campo en este caso mide una flor de *Rafflesia*.

Hay consenso entre las comunidades científicas de que toda persona que tenga una preparación educativa mínima deberá estar familiarizada con los conceptos biológicos básicos: evolución, herencia, biodiversidad y los peligros que enfrenta, reproducción y salud reproductiva, competencia, extinción, adaptación y contaminación.

entre otros, de tipo biológico. El uso de aditivos alimenticios, drogas, insecticidas, radiación, técnicas de ingeniería genética y medidas de control de la población, son justamente algunos de los diversos medios por los cuales nuestras vidas pueden ser modificadas por el nivel de conocimiento biológico. El modo en que se haga uso de este conocimiento, ya sea para incrementar o disminuir el valor de nuestras vidas, lo pueden decidir únicamente ciudadanos bien informados. Hay una riqueza cultural en el conocimiento de la biología.

Características y propiedades de los seres vivos

Qué es la vida y cómo se pueden explicar los procesos vitales han sido temas de acaloradas controversias desde hace más de 500 años. El intento de explicar la naturaleza de eso que llamamos "vida" ha sido uno de los principales objetivos de la biología. Sin embargo, cuando nos referimos a la vida, más bien nos estamos refiriendo al proceso de vivir, que es lo que sí se puede estudiar científicamente. Se puede describir lo que es vivir, se puede definir lo que es un organismo vivo, y se puede intentar establecer una diferencia entre lo vivo y lo no vivo; pero para los estudiosos de siglos anteriores esto no fue nada fácil porque había ideas encontradas. De un lado existía un bando que afirmaba que, en realidad, los organismos vivos no eran diferentes de la materia inanimada; a estas personas se les llamó **mecanicistas**. El filósofo francés **René Descartes** (1596-1650) fue un destacado defensor de este punto de vista. Esta concepción acerca de los seres vivos pronto fue llamada **fisicismo** dado que sus defensores eran más bien físicos que mecánicos. Del otro lado estaban los **vitalistas**, que aseguraban que los organismos tenían propiedades que no existían en la materia inerte, y que , por lo tanto, las teorías y conceptos biológicos no se podían reducir a las leyes de la física y de la química. A finales del siglo XIX, el principal vitalista era **Luis Pasteur**. ¿Quiénes tenían la razón?

De manera muy clara con respecto a este tema, el biólogo evolutivo de origen alemán **Ernst Mayr** nos dice que ambos bandos tenían algo de razón y que, en parte, ambos se equivocaban. Los mecanicistas o fisicistas estaban en lo correcto al decir que no existe una fuerza vital como componente de la vida, y que, a nivel molecular, la vida se puede explicar según los principios de

la física y de la química. Por su parte, los vitalistas tenían razón al afirmar que, a pesar de todo, los organismos no son como la materia inerte, sino que poseen numerosas características propias, especialmente sus programas genéticos, adquiridos a lo largo del tiempo, los cuales no se han encontrado en la materia inanimada. Los organismos son sistemas ordenados a muchos niveles, muy diferentes a todo lo que conocemos en el mundo inanimado.

En el último siglo, ha quedado claro que deben retomarse los principios válidos del fisicismo y del vitalismo, conformando una nueva corriente de pensamiento filosófico acerca de la vida y el vivir que se conoce como **organicismo**.



Figura 1.2 Luis Pasteur (1822-1895), químico y biólogo francés, famoso por sus investigaciones sobre la causa y prevención de enfermedades del género humano y de los animales y por sus estudios sobre la generación espontánea y la fermentación.

El organicismo es el nuevo sistema explicativo o paradigma biológico que domina desde 1930. Este nos dice que los procesos a nivel molecular se pueden explicar perfectamente por mecanismos fisicoquímicos, pero que dichos mecanismos tienen una influencia menor en los niveles superiores de integración biológica. Las características exclusivas de los seres vivos no se deben a su composición, sino a su organización. De ahí el origen de la palabra organicismo.

Las funciones de los organismos vivos a nivel molecular obedecen a las leyes de la física y la química. Sin embargo, los organismos son diferentes de la materia inerte. Son sistemas ordenados jerárquicamente, con nuevas propiedades que no se han observado nunca en la materia inanimada.

Los organismos vivos presentan una serie de propiedades que les confieren ciertas cualidades, conocidas como características, que definitivamente no existen en los sistemas inanimados y que, de acuerdo con Audesirk-Audesirk y Mayr, podemos describirlas. Estas son:

1. Los seres vivos tienen una estructura organizada compleja.
2. Los seres vivos tienen la capacidad de adquirir energía y materiales del exterior y los transforman.
3. Los seres vivos tienen capacidad de autorregulación.
4. Los seres vivos tienen capacidad de crecer y desarrollarse, siguiendo un programa genético.
5. Los seres vivos tienen capacidad de responder a estímulos del medio ambiente.
6. Los seres vivos se reproducen utilizando una huella molecular llamada ADN.
7. Los seres vivos, tomados como un todo, tienen capacidad de evolucionar.

Veamos estas características con un poco de detalle:

Organización compleja

> Los organismos vivos son sistemas complejos y ordenados jerárquicamente. Hoy sabemos que las cualidades de cualquier sistema vivo no son la mera suma de sus componentes, sino que, en cada nivel de integración superior, surgen o emergen nuevas propiedades que no se habían podido predecir por muy bien que se conocieran los componentes del nivel inferior. A estas nuevas propiedades se les conoce como emergentes.

Cada función o proceso que realizan los organismos vivos es vital para su existencia. Todas las funciones interactúan unas con otras para crear un singular y ordenado sistema viviente. Toda función vital tiene su explicación en la estructura y funcionamiento de la célula. Por eso, la unidad de organización de los seres vivos es la **célula**, cuyas propiedades están sustentadas en función de sus componentes responsables del desarrollo y funcionamiento de los seres vivos: ácidos nucleicos, aminoácidos, enzimas, hormonas y los componentes membranosos que son macromoléculas que están ausentes en la naturaleza no viva.

Cada tipo de organismo se identifica por su aspecto y forma característicos. Los adultos de cada especie tienen su propio tamaño, en tanto las cosas sin vida generalmente presentan formas y tamaños muy variables.

La célula es la parte más simple de la materia viva capaz de realizar todas las actividades necesarias para la vida. Algunos de los organismos más simples, como las bacterias, son **unicelulares**; es decir, constan de una sola célula. Por el contrario, el cuerpo de un ser humano o el de un árbol como el roble están formados por miles de millones de células; en estos organismos **pluricelulares** complejos, los procesos del organismo entero dependen del funcionamiento coordinado de las células que lo constituyen.

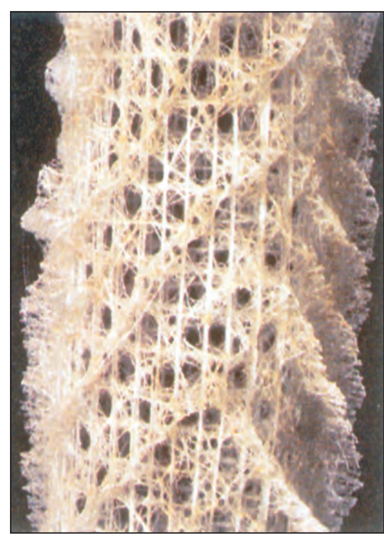
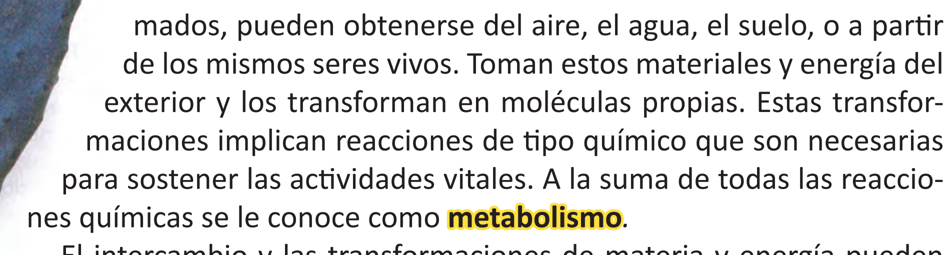


Figura 1.3 Los seres vivos están altamente organizados. Cada estructura dentro de las células desarrolla funciones específicas. La estructura esquelética de esta esponja marina muestra una compleja organización.

Obtención y transformación de materia y energía (metabolismo)

> Un rasgo fundamental que caracteriza a la vida es el hecho de que los seres vivos intercambian sustancias y energía con el medio externo, es decir, funcionan como un sistema abierto.

Las sustancias que se incorporan a un organismo ingresan a una red de reacciones químicas en las que se degradan o se utilizan para la construcción de compuestos más complejos. Los organismos necesitan materiales y energía para mantener su alto grado de complejidad y organización, para crecer y reproducirse. Los átomos y las moléculas de los cuales todos los organismos están for-



mados, pueden obtenerse del aire, el agua, el suelo, o a partir de los mismos seres vivos. Toman estos materiales y energía del exterior y los transforman en moléculas propias. Estas transformaciones implican reacciones de tipo químico que son necesarias para sostener las actividades vitales. A la suma de todas las reacciones químicas se le conoce como **metabolismo**.

El intercambio y las transformaciones de materia y energía pueden encontrarse también en el mundo inanimado. Sin embargo, hay una diferencia fundamental: en los seres vivos, los cientos de miles de reacciones químicas que se producen son coordinadas en el tiempo y en el espacio en forma ordenada y siguiendo las instrucciones del material genético.

Figura 1.4 Todos los organismos usan energía para el mantenimiento de las estructuras celulares y para el crecimiento. El Sol es la fuente de energía para casi todos los organismos, ya que proporciona la energía necesaria para que las plantas realicen la fotosíntesis y puedan elaborar los alimentos que los animales requieren.

En todos los seres vivos ocurren reacciones químicas que son esenciales para la nutrición, el crecimiento y la reparación de las células, así como para la conversión de la energía en formas utilizables. Las reacciones metabólicas ocurren de manera continua en todo ser vivo; en el momento en que se suspenden se considera que el organismo ha muerto.

El **anabolismo** incluye reacciones químicas de construcción, es decir, que de la unión de moléculas sencillas se obtienen moléculas complejas. En esta fase, al fusionarse las moléculas, se forman entre ellas enlaces químicos, de manera que en dichas reacciones se acumula energía.

El **catabolismo** incluye las reacciones de desdoblamiento o degradación de moléculas complejas a moléculas simples, que implica ruptura de enlaces y liberación de energía, que será almacenada en las moléculas de ATP para ser utilizadas en las funciones celulares.

A manera de ejemplo, veremos el metabolismo de los carbohidratos, primero su fase anabólica de construcción (fotosíntesis) y después su fase catabólica o de degradación (respiración celular).

En la **fotosíntesis** se construyen moléculas de azúcares y en ellas se acumula la energía luminosa absorbida del Sol. La fotosíntesis es un proceso complejo que implica una serie de reacciones químicas, que se resumen en una sola reacción general, donde se tienen los reactivos iniciales y los productos finales.

$$6\,CO_2 + 6\,H_20 \xrightarrow[\text{clorofila}]{\text{luz solar}} C_6H_{12}O_6 + 6\,0_2$$

bióxido de carbono + agua → glucosa + oxígeno

En la **respiración celular**, los azúcares son degradados hasta bióxido de carbono y agua en un proceso en el que se libera energía para sintetizar moléculas de ATP.

$$C_6H_{12}0_6 + 6\,0_2 \longrightarrow 6\,C0_2 + 6\,H_20 + \text{energía}$$

glucosa + oxígeno → bióxido de carbono + agua

Autorregulación (homeostasis)

Los seres vivos se caracterizan por poseer toda clase de mecanismos de control y regulación, incluyendo múltiples mecanismos de retroalimentación que mantienen al organismo en un estado estacionario. Esto, definitivamente, no se encuentra en la materia inanimada.

Todos los organismos necesitan mantener su ambiente interno relativamente estable, aún cuando las condiciones externas cambien en forma drástica. Esta condición se llama **homeostasis**.



Figura 1.5 La sudoración es un ejemplo de homeostasis. *¿Cómo reduce el sudor la temperatura corporal?*

La regulación de la temperatura corporal en el ser humano es un ejemplo de mecanismo homeostático. Cuando la temperatura del cuerpo se eleva por arriba de su nivel normal de 37°C, la temperatura de la sangre es detectada por células cerebrales especiales que funcionan como un termostato. Dichas células envían impulsos nerviosos hacia las glándulas sudoríparas para incrementar la secreción de sudor; la evaporación del sudor que humedece la superficie del cuerpo reduce la temperatura corporal. Otros impulsos nerviosos provocan la dilatación de los capilares sanguíneos de la piel haciendo que ésta se sonroje. El aumento del flujo sanguíneo en la piel lleva más calor hasta la superficie corporal para que, desde ahí, se disipe por radiación.

Cuando la temperatura del cuerpo desciende por debajo de su nivel normal, el cerebro inicia una serie de impulsos que constriñen los vasos sanguíneos de la piel reduciendo así la pérdida de calor a través de la superficie. Si la temperatura corporal desciende aún más, el cerebro empieza a enviar impulsos nerviosos hasta los músculos, estimulando las rápidas contracciones musculares conocidas como escalofríos, un proceso que tiene como resultado la generación de calor.

Crecimiento y desarrollo

Los organismos en general, atraviesan un ciclo vital en el cual **crecen** y se **desarrollan**. Tal característica se da en todo tipo de organismos, incluso en los microscópicos, pero donde es muy clara es en los organismos superiores que inician su vida con un tamaño muy pequeño y durante su ciclo de vida su crecimiento es muy evidente. Es de notarse que el desarrollo se da junto con el crecimiento, pues no es sólo aumento de volumen, sino de cambios en las formas de la apariencia corporal o estados mucho más drásticos como la metamorfosis de una mariposa o una rana. En cualquier caso, este proceso involucra la síntesis de macromoléculas específicas, que está a cargo de la información genética. El **desarrollo** abarca todos los cambios que se producen durante la vida de un organismo.



Figura 1.6 Los organismos crecen y se desarrollan. Observa la diferencia de tamaño y aspecto corporal entre el rinoceronte pequeño y el adulto. El rinoceronte pequeño va a crecer aumentando su número de células y parte de su desarrollo incluye el crecimiento de sus dos cuernos.

Quizás alguien pudiera decir que en la materia inanimada también hay crecimiento. Por ejemplo, se forman cristales en una solución sobresaturada de una sal; conforme más sal va saliendo de la solución, los cristales crecen más y más. No obstante, ese proceso no es crecimiento en el sentido biológico. Los biólogos restringen el término **crecimiento**, a los procesos que incrementan la cantidad de sustancia viva en el organismo. El crecimiento, por tanto, es un aumento en la masa celular como resultado de un incremento del tamaño de las células individuales, del número de células o de ambos. El crecimiento puede ser uniforme en las diversas partes de un organismo, o mayor en unas partes que en otras, de modo que las proporciones corporales cambian conforme ocurre el desarrollo.

Algunos organismos, por ejemplo, la mayoría de los árboles, siguen creciendo indefinidamente. Muchos animales tienen un período definido de crecimiento, el cual termina cuando se alcanza el tamaño característico del adulto. Otro aspecto del proceso de crecimiento es que cada parte del organismo sigue funcionando conforme éste crece.

Capacidad de responder a estímulos

> Los seres vivos tienen la capacidad de identificar y responder a los estímulos que reciben en su medio ambiente, ya sea interno y externo.

Los animales han desarrollado durante su proceso evolutivo órganos sensoriales y sistemas musculares que les permiten identificar y responder a estímulos físicos y químicos externos e internos. Los estímulos que pueden producir una respuesta en casi todas las plantas y animales, son cambios de color, intensidad o dirección de la luz, variación de temperatura, presión o sonido y cambios de la composición química de la tierra, el agua o el aire a su alrededor.

En el ser humano y otros animales superiores, algunas células del cuerpo están muy especializadas y responden a ciertos tipos de estímulos: los bastones y conos de la retina (membrana del ojo) responden a la luz, algunas células de la nariz y las células gustativas de la lengua a estímulos químicos, y las células especiales de la piel, a cambios de temperatura o presión. En animales inferiores y plantas, pueden faltar estas células especializadas, pero el organismo entero responde al calor o frío, a algunas sustancias químicas o a la luz, acercándose o alejándose.









Figura 1.7 Todos los organismos responden a los estímulos físicos y químicos del ambiente. Las plantas pueden responder a la dirección de la luz solar, creciendo hacia la dirección de los rayos luminosos. En todos los reinos también es notoria la respuesta a los estímulos.

Los animales no son los únicos organismos que reciben y responden a estímulos. Los vegetales reaccionan a la luz, la gravedad, el agua y otros estímulos, principalmente por crecimiento de las diferentes partes de su cuerpo. El tallo de las plantas se curva hacia la luz, las raíces crecen hacia abajo y las hojas se pliegan o languidecen durante la noche. Unas cuantas plantas como la atrapamoscas venus, son particularmente sensibles a los estímulos táctiles y pueden capturar insectos. Otro caso es el de la planta *Mimosa pudica*, que en nuestra región se le conoce como "cuca". Se identifica porque al ser tocada con la mano, rapidamente cierra sus hojas (figura 1.7).



Figura 1.8 Los seres vivos se reproducen y al hacerlo aseguran la supervivencia de la especie. *¿Qué tipo de reproducción presentan los pingüinos?*

Reproducción (autorreplicación)

Una de las características más sorprendentes de los seres vivos es su capacidad de autorreproducirse, de transmitir información genética a su descendencia y así generar nuevos seres vivos con sus mismas características. Sin esta capacidad, los seres vivos no podrían persistir en el tiempo, generación tras generación.

Los procesos para generar descendientes son variados, pero los resultados son los mismos. La diversidad de la vida sucede, en parte, porque los descendientes, aunque provienen del material genético proporcionado por los padres, por lo general, son algo diferentes. Los mecanismos por medio de los cuales los rasgos pasan de una generación a la siguiente, valiéndose de una huella genética, contenida en moléculas de ADN, produce estos descendientes variables.

Se conocen dos tipos de reproducción **asexual** y **sexual**. En la reproducción asexual siempre participa un solo progenitor, el cual se divide, germina o fragmenta para formar dos o más descendientes. La reproducción sexual requiere de la participación de células reproductoras llamadas **gametos**. El gameto femenino es el **óvulo** y el masculino el **espermatozoide**; el óvulo y el espermatozoide se unen formando una célula llamada **cigoto** a partir de la cual se formará un nuevo individuo.

Adaptación y evolución

> Los organismos son el producto de 3 mil 800 millones de años de evolución. Todas sus características reflejan esta historia. El desarrollo, el comportamiento y todas las demás actividades de los organismos vivos están controlados, en parte, por programas genéticos que son el resultado de la acumulación de información a lo largo de la vida. Los organismos vivos son sistemas adaptados como resultado de la selección natural a la que se vieron sometidos en incontables generaciones anteriores.

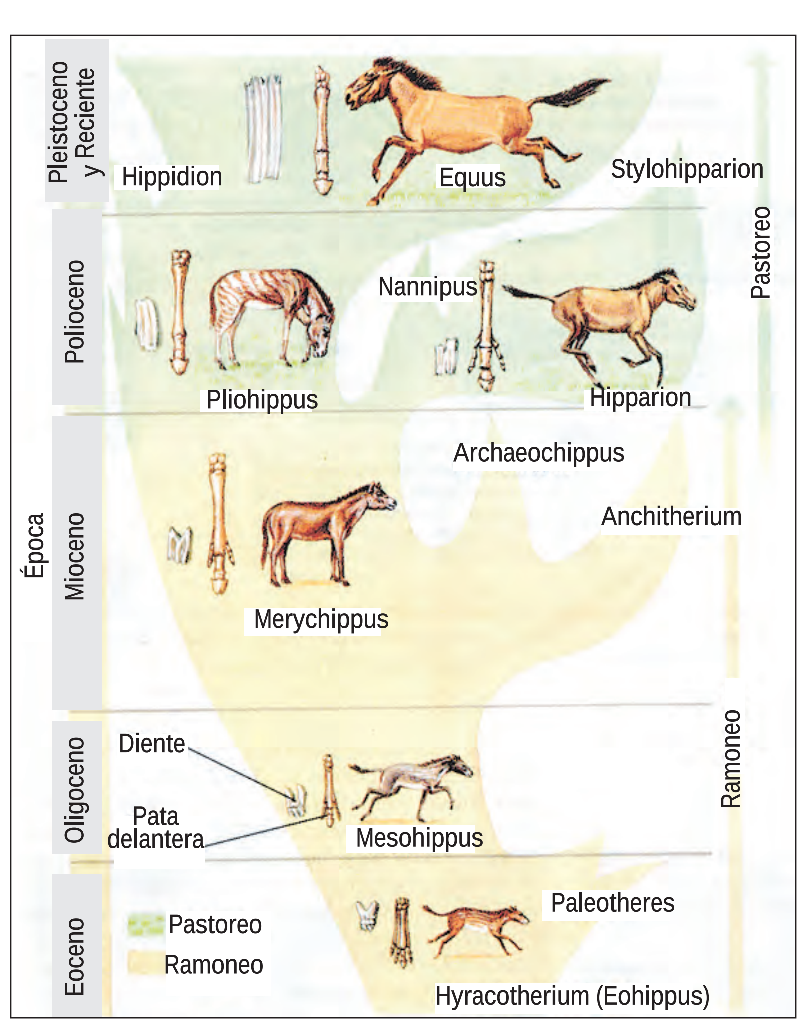


Figura 1.9 A los largo de generaciones, los grupos de organismos evolucionan o cambian con el tiempo. Por ejemplo, los caballos evolucionaron de ser pequeños ramoneadores en áreas boscosas hasta ser pastoreadores de las planicies. Los tres cambios principales fueron tamaño, anatomía de la pata y de los dientes.

La composición genética de un individuo es prácticamente la misma durante su ciclo de vida, pero la composición genética de la población de individuos de la misma especie cambia a lo largo de muchas generaciones, es decir, evoluciona. La fuerza más importante en la evolución es la **selección natural**, proceso mediante el cual los organismos que poseen rasgos que les ayudan a adaptarse a las condiciones de su medio, sobreviven y se reproducen más satisfactoriamente que otros que carecen de tales rasgos. Los rasgos adaptativos que surgen de una mutación genética que incrementa la supervivencia pasan a la siguiente generación.

La capacidad de una especie de **adaptarse** a su ambiente es la característica que le permite sobrevivir en un mundo en constante cambio. Las adaptaciones son cambios que incrementan la capacidad del organismo de sobrevivir en un ambiente determinado. Dichas adaptaciones

pueden ser estructurales, fisiológicas o conductuales, o una combinación de ellas. El largo cuello de las jirafas es una adaptación para alcanzar las hojas de los árboles, y el grueso pelaje de los osos polares es una adaptación para sobrevivir en las temperaturas congelantes.

La adaptación puede incluir cambios inmediatos que dependen de la irritabilidad de las células, o ser el resultado de fenómenos de selección y mutación a largo plazo. Salta a la vista que ningún organismo puede adaptarse a todos los tipos concebibles de medio ambiente.

Las plantas recurren a adaptaciones muy ingeniosas para racionar su provisión de agua en las zonas o épocas de sequía. Tratan de retener en el interior la mayor cantidad de agua posible y para ello reducen cuanto pueden la superficie de transpiración: tienen hojas pequeñas o incluso carecen de ellas.

Sin embargo, las plantas que tienen que luchar más intensamente contra la sequedad del clima son las plantas de zonas desérticas. Allí donde la lluvia se reduce a unos escasos y breves aguaceros, los nopales desarrollan unos tallos carnosos en forma de palas; como si fueran esponjas, absorben y guardan una provisión de agua, de la cual habrán de mantenerse durante varios meses.

Niveles de organización de los seres vivos

Las propiedades de una molécula compleja dependen de la organización de los átomos que la constituyen. De igual modo, las propiedades de una célula dependen de la organización de las moléculas que la constituyen, y las propiedades de un organismo multicelular dependen de la organización de las células de su cuerpo. El último nivel de organización biológica, la biósfera, resulta de las interacciones recíprocas entre arqueobacterias, eubacterias, protistas, hongos, plantas y animales y de sus interrelaciones con los factores físicos del ambiente.

Al estudiar las interacciones que ocurren dentro de los grupos de organismos, y entre un grupo y otro, es posible detectar una jerarquía de complejidad cada vez mayor. Observa los diversos niveles de organización de los seres vivos en la figura 1.10.

Organización a nivel del organismo

De acuerdo con Helena Curtis y colaboradores, el primer nivel de organización con el cual los biólogos habitualmente se relacionan es el subatómico: las **partículas** (protones, neutrones y electrones), se organizan para formar el siguiente nivel, que es el **átomo**. La organización de los átomos en **moléculas** representa un nuevo nivel que contiene los anteriores.

> Aunque cada nivel está formado por componentes del nivel precedente, la nueva organización de los componentes en un nivel dado da como resultado la aparición de propiedades nuevas que son muy diferentes de las del nivel anterior.

Un ejemplo de esto fue mencionado por el científico Niels Bohr: “a temperaturas normales, el oxígeno y el hidrógeno son gases, y el agua que está compuesta por estos dos elementos, es líquida con propiedades muy distintas de cada uno de estos gases”.

Existen muchas moléculas diversas que pueden asociarse entre sí para formar estructuras complejas y altamente especializadas a las que se denomina **organelos**. Son ejemplos de ellos

la membrana plasmática que rodea a la célula y el núcleo, que contiene el material hereditario. En un nuevo nivel de organización, surge la propiedad más notable de todas: la vida, en la forma de una célula. La **célula** en sí es la unidad básica estructural y funcional de la vida. Cada célula está formada por un citoplasma gelatinoso, rodeado por una membrana celular.

Otras propiedades surgen cuando las células individuales y especializadas se organizan en un nivel todavía superior: en un organismo multicelular. Las células diferenciadas y especializadas pueden organizarse constituyendo **tejidos**. Según el tipo de células que los formen y la manera en que se organicen, los tejidos pueden constituir **órganos** como el hígado, el estómago o el cerebro. Este último constituido por tejido nervioso, tejido conectivo y sangre. Varios órganos que en conjunto realizan una sola función forman un **sistema** de órganos; por ejemplo, el cerebro, la médula espinal, los órganos de los sentidos y los nervios forman juntos el sistema nervioso. Todos los sistemas de órganos funcionan coordinadamente constituyendo un ser vivo individual, el **organismo**.

Organización ecológica

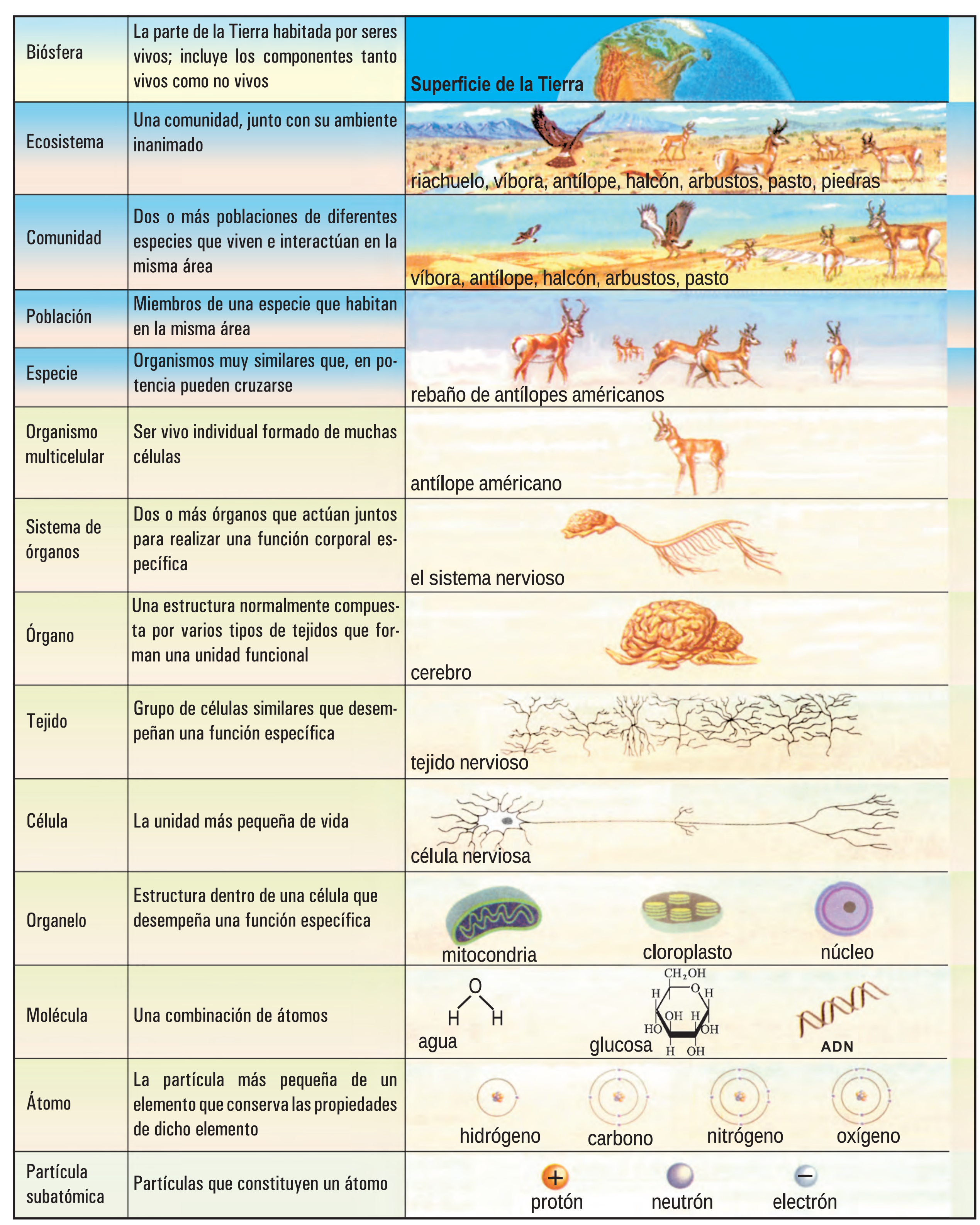
Más allá de los organismos individuales, existen niveles más amplios de organización. Un grupo de organismos muy parecidos que potencialmente se entrecruzan, constituyen una **especie**. A los miembros de una misma especie que viven en un área determinada se les considera una **población**. El ambiente ocupado por un organismo o población se conoce como su **hábitat**. Las poblaciones de diversas especies que viven en una región determinada y que interactúan entre sí forman una **comunidad**. Una comunidad puede estar formada por centenares de tipos diferentes de formas de vida. Una comunidad más el medio no viviente, que comprende el suelo, el agua y la atmósfera, constituyen un **ecosistema**. Toda la superficie de la Tierra que está habitada por seres vivos recibe el nombre de **biósfera**.

Diversidad de los organismos

Uno de los aspectos más impresionantes del mundo vivo es su **diversidad**. En las poblaciones con reproducción sexual, no existen dos individuos idénticos; tampoco existen dos poblaciones o dos especies idénticas. Cuando observamos a la naturaleza vemos muchos casos, pero cada uno es único.

Nuestro conocimiento de la diversidad de la vida, nos dice **Ernst Mayr**, ha ido creciendo durante los últimos trescientos años. Comenzó con los viajes de exploración y el trabajo de exploradores a título individual, cuyas observaciones y colecciones revelaron diferencias en las faunas y floras de todo nuevo continente e isla que se exploraba. Vino a continuación el estudio de los organismos marinos y de agua dulce, incluyendo los de las profundidades oceánicas. La investigación de los animales y plantas microscópicas, parásitos y restos fósiles, y por último, el descubrimiento de bacterias, reveló las verdaderas dimensiones de la diversidad de formas biológicas en la Tierra. La evolución ha hecho que surja esta variedad asombrosa.

Según la investigadora, **Lynn Margulis** de la Universidad de Massachusetts, se estima nuestra diversidad biológica en cuando menos 3 millones de especies distintas de seres vivos, aun cuando se pueda decir que el número de estos pueda llegar hasta 30 millones de especies.



Biósfera	La parte de la Tierra habitada por seres vivos; incluye los componentes tanto vivos como no vivos	Superficie de la Tierra
Ecosistema	Una comunidad, junto con su ambiente inanimado	riachuelo, víbora, antílope, halcón, arbustos, pasto, piedras
Comunidad	Dos o más poblaciones de diferentes especies que viven e interactúan en la misma área	víbora, antílope, halcón, arbustos, pasto
Población	Miembros de una especie que habitan en la misma área	rebaño de antílopes américanos
Especie	Organismos muy similares que, en potencia pueden cruzarse	
Organismo multicelular	Ser vivo individual formado de muchas células	antílope américano
Sistema de órganos	Dos o más órganos que actúan juntos para realizar una función corporal específica	el sistema nervioso
Órgano	Una estructura normalmente compuesta por varios tipos de tejidos que forman una unidad funcional	cerebro
Tejido	Grupo de células similares que desempeñan una función específica	tejido nervioso
Célula	La unidad más pequeña de vida	célula nerviosa
Organelo	Estructura dentro de una célula que desempeña una función específica	mitocondria, cloroplasto, núcleo
Molécula	Una combinación de átomos	agua, glucosa, ADN
Átomo	La partícula más pequeña de un elemento que conserva las propiedades de dicho elemento	hidrógeno, carbono, nitrógeno, oxígeno
Partícula subatómica	Partículas que constituyen un átomo	protón, neutrón, electrón

Figura 1.10 Organización biológica. En todo sistema vivo, en los niveles de integración superiores emergen nuevas propiedades que no existen en los componentes inferiores. Los sistemas vivos tienen bases químicas, pero la cualidad de vida por sí misma surge en el nivel celular. Las interaciones entre los componentes de cada nivel y de los niveles debajo de él, permiten el desarrollo del siguiente nivel de organización.

Durante siglos, los naturalistas se han interesado en darle un orden al estudio de tantas especies de seres vivos. Este trabajo se reconoce como abrumador y todos los intentos han llegado a establecer órdenes jerárquicos; para aclarar un poco esto último, revisemos lo siguiente:

En la vida cotidiana hay una gran cantidad de cosas muy diferentes con las que sólo podemos tratar clasificándolas. Las clasificaciones sirven para ordenar instrumentos, medicinas, obras de arte, pero también nos sirven para ordenar ideas, conceptos y hasta teorías. Para ordenar, agrupamos los objetos en clases según sus atributos comunes, de esta manera, se ha llegado a formar verdaderos sistemas de agrupación de la vasta diversidad de formas vivientes.

La unidad básica en que los biólogos se han puesto de acuerdo para clasificar los organismos es la **especie**. Resulta difícil dar una definición del término que sea igualmente aplicable a todo el mundo vivo, pero definiremos la especie, en general, como un grupo de individuos semejantes entre sí, parecidos en sus caracteres estructurales y funcionales, que en la naturaleza puede entrecruzarse libremente y producir descendientes fértiles.

Las especies íntimamente emparentadas se agrupan para formar la siguiente unidad de clasificación, el **género**. Cada organismo recibe un nombre científico formado por dos palabras, el género y la especie, en latín. Por ejemplo, el nombre científico del encino blanco americano es *Quercus alba*. Otro árbol, el sauce blanco, *Salix alba*, pertenece a un género diferente. El nombre científico del ser humano es *Homo sapiens.*

En el siglo XVIII y con la publicación del Sistema Natural de Carlos Linneo, sólo se reconocían dos grandes grupos de seres vivos: el de las plantas y el de los animales. Con el desarrollo del microscopio se descubrió una gran cantidad de microorganismos y su clasificación se hacía obligatoria. **Ernst Haeckel** propuso, a finales del siglo XIX, la construcción de un tercer reino, el de los *Protistas*, constituido por los microorganismos. Haeckel reconoció, además, que algunos microorganismos carecían de núcleo celular y los denominó *Monera*. Posteriormente, las bacterias fueron reconocidas, en 1956, por **Herbert Copeland** como un reino aparte de los protistas, el Monera. En 1969, **R. H. Whittaker** propuso una clasificación de cinco reinos considerando a los hongos (setas, mohos, y levaduras) como un quinto reino nuevo y aparte que le llamó Fungi. El criterio para sacarlos del reino vegetal es claro, pues los hongos no son fotosintéticos y absorben sustancias orgánicas producidas por otros organismos. Así se estableció el sistema de los cinco reinos, a saber, **Monera** (bacterias), **Protista** (protozoarios), **Fungi** (hongos), **Plantae** y **Animalia**. Posteriormente, en 1978, Wittaker y Margulis propusieron una modificación conservando el número de reinos e incluyendo dentro del grupo protista a todo tipo de algas.

En 1977 **Carl Woese** y colaboradores, encontraron a partir del estudio comparativo de las secuencias de bases de genes, que existen dos grupos fundamentalmente distintos de bacterias: arqueobacterias y eubacterias. En la actualidad muchos biólogos han aceptado dividir a los procariotas en los reinos **Archaebacteria** y **Eubacteria**, de lo que resulta un sistema de clasificación de seis reinos.

Con base en diferencias moleculares entre eubacterias, arqueobacterias y eucariotas, muchos investigadores taxonómicos emplean un nivel de clasificación superior al del reino, llamado

dominio. Ellos, de acuerdo a la propuesta de Carl Woese, clasifican a los organismos en tres dominios, mismos que se le llama, al primero **Archaea** o arqueas (que corresponde exactamente al reino de arqueobacterias), al segundo **Eubacteria** o eubacterias (también llamado Bacteria) y al tercero **Eukarya** o eucarias (eucariotas). Este último dominio está constituido por los reinos Protista, Fungi, Plantae y Animalia.

En la actualidad la clasificación de organismos es un proceso en construcción y en permanente cambio. Por cuestiones didácticas, en el presente libro, seguiremos el esquema de los seis reinos: Eubacteria, Archaebacteria, Protista, Fungi, Plantae y Animalia. Observa la figura 1.11 donde se muestran algunos organismos que forman parte de estos seis reinos.

Reino Eubacteria (eubacterias)

Organismos **procariotas unicelulares** que forman el amplio grupo de bacterias, tradicionalmente el más conocido y que en años anteriores se le llamaba Monera. Muestra una gran diversidad tanto en sus medios de vida como de los tipos de metabolismo. Un primer grupo de ellas son las **heterótrofas** y las encontramos casi por todas partes, pues sólo necesitan moléculas orgánicas como fuente de energía y materiales. Algunas parasitan a otros seres vivos, otras se alimentan de desechos orgánicos participando en la descomposición de organismos muertos. Un segundo grupo de eubacterias son **autótrofas fotosintéticas** y tienen colores como el verdeazul, otras son rojas y amarillas. Este tipo de bacterias cuando están en cuerpos de agua le da una coloración característica como es el caso de las Lagunas de Colores del Estado de Chiapas. Un tercer grupo de eubacterias son las **autótrofas quimiosintéticas**. Estas bacterias obtienen su energía de la descomposición de sustancias inorgánicas, como los compuestos azufrados y nitrogenados como las que convierten el nitrógeno atmosférico en nitratos útiles para las plantas.

Reino Archaebacteria (arqueobacterias)

Organismos **procariotas unicelulares** donde se incluyen tres tipos de bacterias que se encuentran principalmente en aquellos hábitats extremos en los que casi no existen otros seres vivos. Un grupo llamado **metanógenas** vive en ambientes carentes de oxígeno y producen metano. Algunas de estas arqueobacterias viven en las profundidades del océano y en las plantas de tratamiento de aguas negras. Un segundo grupo sólo puede vivir en agua con alta concentración de sales como el Lago Salado en el estado americano de Utah y el Mar Muerto en el Medio Oriente, a estas bacterias se les llama **halófilas**. Un tercer grupo denominado **termófilas** viven en hábitats donde la temperatura del agua está cerca de la ebullición.

Reino Protista

El reino **Protista** está formado por organismos **eucariotas**. Algunos de sus representantes son animaloides (protozoarios), otros son vegetaloides (algas) y otros son protistas fungoides (mucoides). Este reino incluye organismos unicelulares, formas coloniales y formas pluricelulares simples.

Reino Fungi (hongos)

Todos los hongos son **eucariotas heterótrofos** y, con excepción de las levaduras, son **multicelulares**. Obtienen su alimento por absorción en vez de ingestión.

Los hongos contribuyen de manera significativa al equilibrio ecológico de la biósfera, al degradar los desechos y cuerpos muertos de otros organismos. Además, entre sus aportaciones directas al bienestar humano pueden mencionarse las de las levaduras con que se elabora el pan, las del antibiótico penicilina y, por supuesto, las de los hongos comestibles, entre los que cabe mencionar los champiñones y trufas.

Reino Plantae

Las plantas son organismos **eucariotas multicelulares** adaptados para realizar la **fotosíntesis**, es decir, son **autótrofos**. Sus pigmentos fotosintéticos, como la **clorofila**, se localizan dentro de organelos llamados **cloroplastos**. Se incluyen en este reino a las briofitas o plantas no vasculares (musgos, hepáticas y antoceros) y las traqueofitas ó plantas vasculares.

Reino Animalia

Todos los animales son organismos **eucariotas multicelulares** y **heterótrofos**; obtienen sus nutrientes devorando otros organismos. Se reconocen diez grupos principales de animales.

Método científico

El conocimiento como proceso

Desde que la especie humana comenzó a crear cultura, es decir, a modificar y remodelar el ambiente que la rodeaba para sobrevivir y desarrollarse, fue necesario también que comprendiera la naturaleza y los fenómenos que ocurren en ella. Actividades que hoy resultan sencillas, como construir la vivienda, domesticar animales, hacer producir la tierra, incluso, saber qué tipo de alimentos eran benéficos y cuáles venenosos, sólo pudieron ser emprendidas después de cuidadosas observaciones de todo tipo: los ciclos estacionales, la duración del día y la noche, las condiciones de la reproducción de los animales y vegetales, las variaciones de los climas, los tipos de suelos y su productividad y, en general todo tipo de conocimiento que tenía que ver con las condiciones geográficas y el mismo espacio cercano y lejano del ser humano. Todo esto puede verse como parte de un proceso de generación y ampliación del conocimiento que no es otra cosa que una aproximación a la verdad, y este paso del conocimiento a la verdad, no es uno solo, es un verdadero proceso que muchas veces pasa por corrección de los errores derivados de interpretaciones falsas y un conocimiento superficial o incompleto.

El conocimiento científico es uno de los modos posibles de conocimiento, quizá el más útil o adecuado, pero no el único ni el único capaz de proporcionarnos respuestas para nuestras interrogantes.

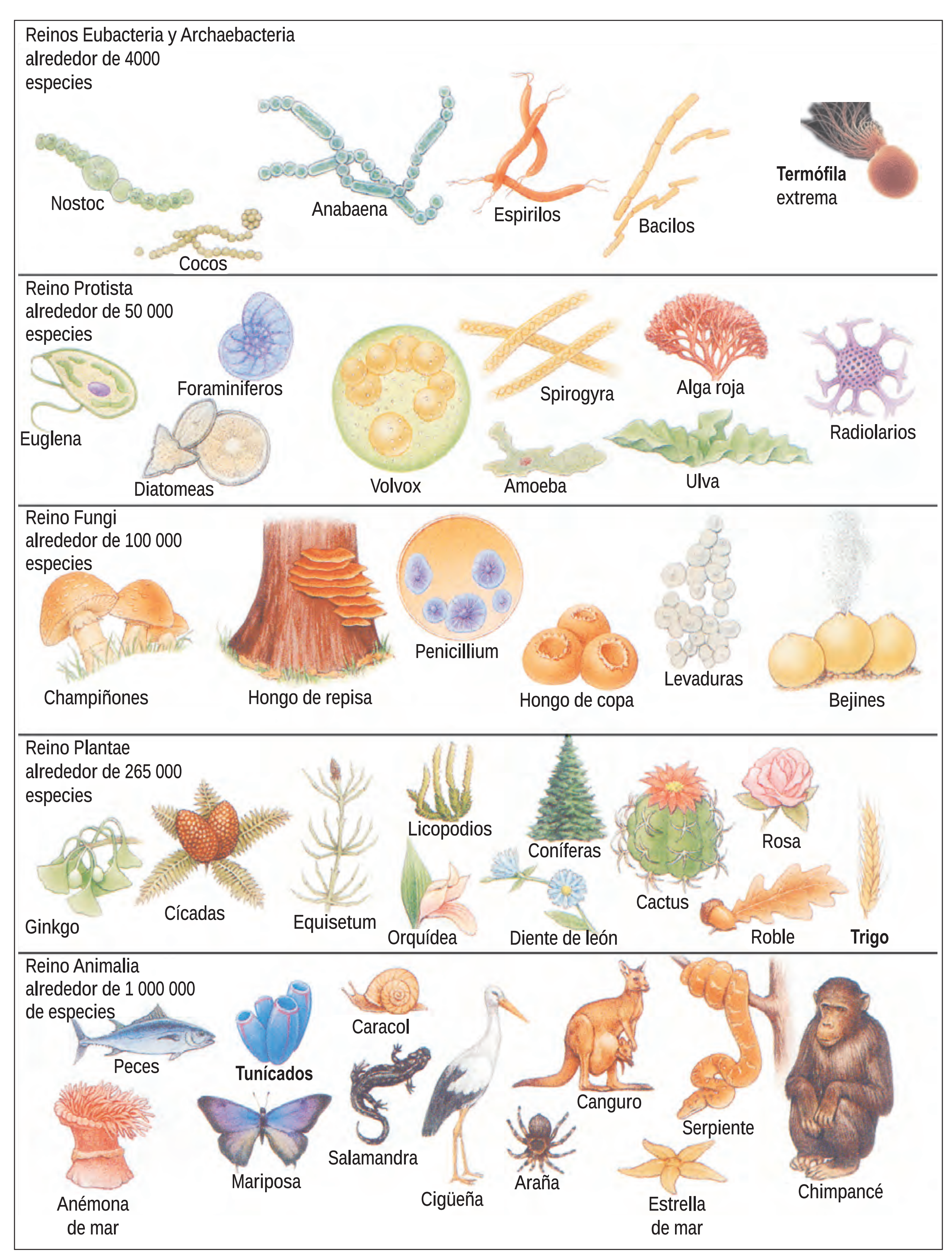


Figura 1.11 Los seis reinos de vida en la Tierra: Archaebacteria, Eubacteria, Protista, Fungi, Plantae y Animalia.

El conocimiento científico y sus características

La ciencia es una de las actividades que el ser humano realiza, un conjunto de acciones encaminadas y dirigidas hacia determinado fin, que es el de obtener un conocimiento verificable sobre los hechos que lo rodean.

Otras cualidades específicas de la ciencia que permiten distinguirla del pensar cotidiano y de otras formas de conocimiento son:

- Objetividad: se intenta obtener un conocimiento que concuerde con la realidad del objeto, que lo describa o explique tal cual es y no como desearíamos que fuese. Lo contrario es subjetividad, las ideas que nacen del prejuicio, de la costumbre o la tradición. Para poder luchar contra la subjetividad, es preciso que nuestros conocimientos puedan ser verificados por otros.
- Racionalidad: la ciencia utiliza la razón como arma esencial para llegar a sus resultados. Los científicos trabajan en lo posible con conceptos, juicios y razonamientos, y no con las sensaciones, imágenes o impresiones. La racionalidad aleja a la ciencia de la religión y de todos los sistemas donde aparecen elementos no racionales o donde se apela a principios explicativos extra o sobrenaturales; y la separa también del arte, donde cumple un papel secundario subordinado, a los sentimientos y sensaciones.
- Sistematicidad: la ciencia es sistemática, organizada en sus búsquedas y en sus resultados. Se preocupa por construir sistemas de ideas organizadas coherentemente y de incluir todo conocimiento parcial en conjuntos más amplios.
- Generalidad: la preocupación científica no es tanto ahondar y completar el conocimiento de un solo objeto individual, sino lograr que cada conocimiento parcial sirva como puente para alcanzar una comprensión de mayor alcance.
- Falibilidad: la ciencia es uno de los pocos sistemas elaborados por el ser humano donde se reconoce explícitamente la propia posibilidad de equivocación, de cometer errores. En esta conciencia de sus limitaciones es donde reside la verdadera capacidad para autocorregirse y superarse.

El propósito del método científico es establecer unos criterios confiables que nos permitan distinguir entre lo que es ciencia y el conocimiento común.

El conocimiento científico se caracteriza por el método adoptado y no tanto por el objeto de estudio. Así que cuando el método de búsqueda del conocimiento es el hipotético-deductivo se identifica la diferencia entre conocimiento científico y no científico.

En este método se establecen una serie de condiciones y pasos que deben cubrirse en la búsqueda de los conocimientos verdaderos. Es muy importante saber reconocer “cómo” hacer para llegar a un conocimiento cercano a la realidad; "método" es aquel conjunto de operaciones teóricas, lógico-epistemológicas y procedimientos que permiten validar o justificar las teorías científicas.

La parte central del método hipotético-deductivo reside en la posibilidad de anticipar los conocimientos. Ésta es la función de las hipótesis formalmente deducidas de un cuerpo teó-

rico, que posteriormente se tratarán de confirmar o refutar, precisamente con conocimientos más precisos.

Los conocimientos así adquiridos, que en conjunto conforman lo que llamamos ciencia, se distinguen por ser un conjunto de conocimientos presentados mediante conceptos que luego, al ser integrados en forma lógica, conforman las teorías o leyes. El uso de ese cuerpo de conceptos lógicos nos llevará a encontrar nuevos conocimientos relacionados. La integración lógica aplicada a la totalidad de los conocimientos produce un sistema teórico que supera a la suma de los conocimientos aislados. Dicho sistema, a su vez, permite sacar nuevas conclusiones sobre la realidad. Éste sería el proceso y el producto del método científico.

Podríamos decir que una investigación y, como consecuencia, un conocimiento, se considera científica cuando es posible, siguiendo las reglas del método, presentar los hechos en forma de enunciados, conceptos, teorías explicativas. Las explicaciones, enunciados, conjeturas o teorías de carácter científico deben someterse a comprobación o a demostrar su falsabilidad. Los conocimientos en la ciencia o se consolidan o se reformulan.

Por lo general, los conocimientos derivados de la investigación científica son aceptados por todos, independientemente de la ideología y de los tipos de sociedad, puesto que pueden ser reproducidos y comprobados en cualquier lugar del mundo, es decir, tienen validez universal.

El planteamiento más general del método científico para cualquier estudio deberá cumplir mínimamente las siguientes fases:

1. **Observar** y **definir** el problema a investigar.
2. **Formular preguntas** acerca del problema de estudio.
3. **Establecer hipótesis** o explicaciones fundadas y contrastables con la experiencia para dar respuesta a las preguntas formuladas.
4. **Investigación** y/o **experimentación**.
5. **Comprobación** de la validez de los resultados obtenidos por medio de la comparación o contrastación. De esta manera se confirmará la hipótesis originalmente propuesta. En caso de que los resultados muestren que nuestra hipótesis es incorrecta, esta deberá ser rechazada.
6. **Interpretación** de los resultados, estimando que lo encontrado en un conocimiento verdadero podrá ser posteriormente confirmado o descartado a la luz de nuevos conocimientos.

Autoevaluación

Repaso de la unidad

Contesta las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál sería para ti una razón importante para estudiar biología?

____

____

2. Describe el método científico. ¿De qué manera utilizas el método científico en tu vida diaria?

____

____

____

3. Cuando los científicos comunican hallazgos nuevos, se espera que muestren sus métodos de investigación y la información básica, así como sus conclusiones. ¿Por qué se considera esencial esta comunicación?

____

____

4. ¿Por qué el trabajo de los científicos es útil e importante para todos nosotros?

____

____

Completa los espacios en blanco de los siguientes enunciados:

5. La ____________________ es el mantenimiento de un ambiente interno relativamente constante necesario para el funcionamiento óptimo de las células.

6. El ____________________ es el total de las reacciones químicas que se efectúan dentro de un organismo.

7. Actualmente los seres vivos se clasifican en seis reinos que son: ___________, ___________, ___________, ___________, ___________ y ___________.

Indica cual de las siguientes afirmaciones son verdaderas (v) o falsas (f).

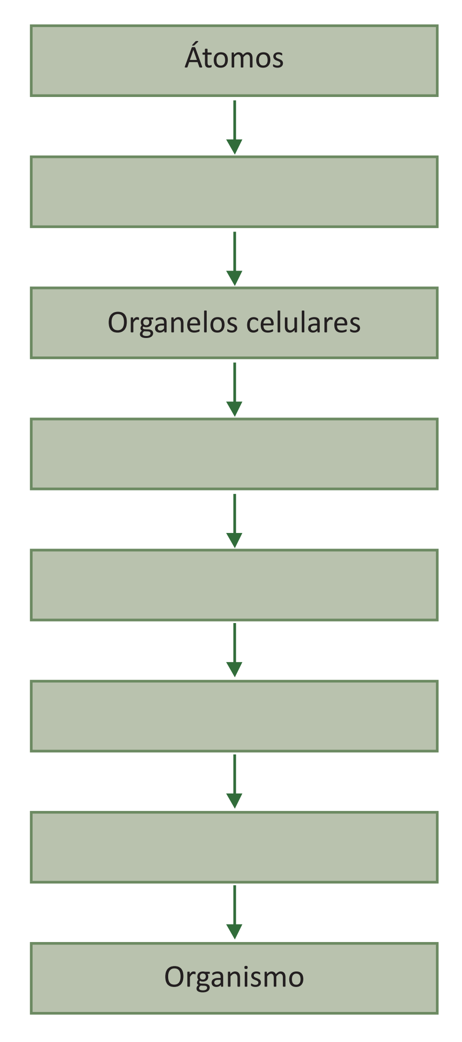
8. La célula es capaz de realizar todas las actividades necesarias para la vida. ( )
9. Algunos seres vivos se reproducen utilizando como huella molecular al ADN. ( )
10. Las células procariotas poseen núcleo celular. ( )
11. La adaptación es la capacidad que le permite a una especie sobrevivir en un mundo en constante cambio. ( )
12. Los reinos eubacteria y arqueobacteria están constituidos por células procariotas. ( )
13. Los organismos autótrofos no elaboran su propio alimento. ( )
14. A las células procariotas, anteriormente se les clasificaba en el reino monera. ( )
15. Las arqueobacterias metanógenas pueden vivir en agua con alta concentración de sales. ( )

En la siguiente sopa de letras, localiza la respuesta de lo que se te pide:

16. Es la unidad básica estructural y funcional de la vida.
17. Es ejemplo de hongos.
18. Fase del metabolismo que implica ruptura de enlaces en las moléculas y liberación de energía.
19. Tipos de células por las que están formados todos los animales, plantas, hongos y protistas.
20. Es la capacidad de los seres vivos de transmitir información genética a su descendencia.
21. Las mitocondrias, los cloroplastos y el núcleo son ejemplos de:
22. Está formada por las poblaciones de diferentes especies que viven en una región determinada y que interactúan entre sí.
23. Reproducción en la que participa un solo progenitor el cual se divide para formar dos o más descendientes.
24. Es un ejemplo de órgano.

C	A	T	A	B	O	L	I	S	M	O	B
O	N	C	E	L	U	L	A	L	A	R	U
R	A	O	U	B	A	E	S	T	R	G	E
A	B	M	C	A	B	V	E	X	U	A	B
Z	O	U	A	L	C	A	X	E	R	N	A
O	L	N	R	I	B	D	U	L	T	E	R
N	I	I	I	N	D	U	A	F	E	L	O
A	S	D	O	V	D	R	L	U	I	O	S
A	M	A	T	O	B	A	C	U	H	S	I
Y	O	D	A	T	A	S	A	V	E	X	I
D	E	N	S	I	T	O	M	E	T	R	O
R	E	P	R	O	D	U	C	C	I	O	N

Completa el siguiente diagrama de flujo sobre los niveles de organización de los seres vivos.



Aplicación de conceptos

25. ¿Qué les sucede a los organismos que son incapaces de adaptarse a su ambiente?

____

26. Establece las diferencias esenciales entre vitalismo y fisicismo.

____

____

27. ¿Por qué cuándo hablamos de evolución nos referimos a una población y no a un individuo en lo particular?

____

____



Los osos polares viven en el Ártico, son animales solitarios cuyo principal alimento son las focas. Actualmente el calentamiento global esta destruyendo su hábitat natural, las gruesas capas de hielo por donde caminan se estan derritiendo.



UNIDAD 2

Moléculas de interés biológico

Moléculas de interés biológico

Introducción

La cualidad más sobresaliente de los seres vivos es su complejidad y alto grado de organización, ya que poseen estructuras internas que contienen muchas clases de moléculas complejas. Además, cada parte componente de la materia viva cumple una función determinada. Esto es válido para estructuras tales como la membrana, el núcleo y para compuestos químicos conocidos como lípidos, proteínas y ácidos nucleicos.

Es notable el hecho que los organismos vivos presentan la propiedad de utilizar la energía contenida en materiales sencillos para construir y sostener sus estructuras y realizar trabajo diverso. Sin embargo, el atributo más extraordinario de los seres vivos es su capacidad de reproducirse idénticamente.

Los organismos vivos están constituidos por los mismos elementos químicos que tambien constituyen la materia inanimada; sin embargo, los organismos vivos poseen cualidades adicionales y extraordinarias que no exhibe la materia inanimada. ¿Cómo es que la materia viva se diferencia de modo tan radical de la inerte? La biología y la química son ciencias que se unen cuando se estudia la estructura, funcionamiento y origen de los seres vivos, las moléculas que integran los organismos vivos no sólo se rigen por principios físicos y químicos comunes que gobiernan el comportamiento de la materia inanimada, sino que, además, ejercen acciones mutuas de acuerdo a reglas fundamentales que gobiernan la naturaleza, la función y las interacciones de las moléculas presentes en los organismos vivos que los dotan de la capacidad de organizarse y replicarse a sí mismos.

Revisemos algunos aspectos generales de la estructura y función de las moléculas presentes en la materia viva.

Primero, la mayor parte de los componentes químicos de los organismos son moléculas orgánicas de carbono; muchas de ellas contienen también nitrógeno. Estos elementos no son abundantes en la materia inerte y se encuentran en la atmósfera y corteza terrestre como bióxido de carbono, nitrógeno molecular, carbonatos y nitratos.

Tomando de ejemplo a una bacteria, veremos que contiene un gran número de moléculas orgánicas; se calcula que *Escherichia coli* contiene alrededor de 3 mil clases diferentes de proteínas y 1000 tipos distintos de ácidos nucleicos. En cambio, en el organismo humano puede haber 5 millones de proteínas distintas. Ninguna de las proteínas de la bacteria *E. coli* es idéntica a alguna proteína humana, aunque algunas funcionen del mismo modo.

El estudio de la inmensa diversidad de moléculas orgánicas de los organismos se puede simplificar. Así, por ejemplo, las 3 mil proteínas que existen en la célula de *E. coli* están integradas tan solo por 20 pequeñas moléculas diferentes llamadas aminoácidos. Y de las 1000 o más ácidos nucleicos de *E. coli* están construidos a partir de sólo 5 unidades estructurales diferentes llamadas nucleótidos. Estos sí son idénticos en todas las especies de seres vivos. Parece probable que las biomoléculas fundamentales fueron seleccionadas en el curso de la evolución biológica.

Dándose por sentado que estas biomoléculas sencillas son idénticas en todas las especies, podemos deducir que todos los organismos vivos proceden de un antepasado común.

Elementos biológicamente importantes

En el mundo, toda la materia está formada a partir de 92 elementos químicos que se encuentran en forma natural. De todos estos elementos, solamente 18 son los más comunes en los seres vivos, dentro de los cuales, los más abundantes en la materia viva son el **carbono** (C), el **hidrógeno** (H), el **nitrógeno** (N), el **oxígeno** (O), el **fósforo** (P) y el **azufre** (S), ya que constituyen aproximadamente 99% de todos los tejidos vivos (observa la tabla 2.1).

Otro elemento importante en la composición de los seres vivos es el cloro (Cl). Además, existen varios minerales conocidos como **oligoelementos**, los cuales, a pesar de requerirse en cantidades ínfimas, es decir, muy pequeñas, son indispensables para la vida ya que tienen un papel insustituible en los procesos fisiológicos. Muchos de ellos catalizan infinidad de reacciones químicas, intervienen en la síntesis de vitaminas y forman parte de la organización estructural de las proteínas y otros compuestos. Por ejemplo, la carencia de hierro disminuye la formación de la hemoglobina, la proteína de los eritrocitos que se encarga de transportar el oxígeno. Otros minerales son el yodo (I), el potasio (K), el calcio (Ca), el sodio (Na), el cromo (Cr), el magnesio (Mg), el manganeso (Mn), el selenio (Se), el flúor (F), el cobre (Cu), el cinc (Zn) y el molibdeno (Mo). En la tabla 2.2 se listan los principales elementos que constituyen a los seres humanos, mencionando la importancia de cada uno de ellos.

Tabla 2.1 Composición atómica de tres organismos representativos

Elemento	Humano	Alfalfa	Bacteria
Carbono	19.37 %	11.34 %	12.14 %
Hidrógeno	9.31 %	8.72 %	9.94 %
Nitrógeno	5.14 %	0.83 %	3.04 %
Oxígeno	62.81 %	77.90 %	73.68 %
Fósforo	0.63 %	0.71 %	0.60 %
Azufre	0.64 %	0.10 %	0.32 %
CHNOPS			
Total	**97.90 %**	**99.60 %**	**99.72 %**

Moléculas inorgánicas y orgánicas

Desde tiempos remotos los químicos han clasificado a las moléculas en dos grandes grupos: **orgánicas** e **inorgánicas**. Inicialmente esta clasificación se basaba en el origen de las moléculas, las inorgánicas provenían de los minerales y las orgánicas de los seres vivos, es decir, estas últimas eran fabricadas sólo dentro de los organismos vivos. Con el paso del tiempo estos conceptos han cambiado sobre todo porque muchas moléculas orgánicas son sintetizadas en

Tabla 2.2 Elementos que constituyen el cuerpo humano

Nombre	Símbolo químico	Composición aproximada del cuerpo humano	Importancia o función
Oxígeno	O	65	Necesario para la respiración celular; presente en casi todos los compuestos orgánicos. Forma parte del agua.
Carbono	C	18	Constituye el esqueleto de las moléculas orgánicas; puede formar cuatro enlaces con otros tantos átomos.
Hidrógeno	H	10	Presente en la mayoría de los compuestos orgánicos, forma parte del agua.
Nitrógeno	N	3	Componente de todas las proteínas y ácidos nucleicos.
Calcio	Ca	1.5	Componente estructural de los huesos y dientes; importante en contracción muscular, conducción de impulsos nerviosos y coagulación de la sangre.
Fósforo	P	1	Componente de los ácidos nucleicos; componente estructural del hueso; importante en la transferencia de energía.
Potasio	K	0.4	Principal ión positivo (catión) del interior de las células; importante en el funcionamiento nervioso; afecta la contracción muscular.
Azufre	S	0.3	Componente de la mayoría de las proteínas.
Sodio	Na	0.2	Principal ión positivo del líquido intersticial, importante en el equilibrio hídrico del cuerpo; esencial para la conducción de impulsos nerviosos.
Magnesio	Mg	0.1	Necesario para la sangre y los tejidos del cuerpo; forma parte de muchas enzimas de importancia.
Cloro	Cl	0.1	Principal ión negativo (anión) del líquido intersticial; importante en el equilibrio hídrico.
Hierro	Fe	Cantidades traza	Componente de la hemoglobina y mioglobina; forma parte de ciertas enzimas.
Yodo	I	Cantidades traza	Componente de las hormonas tiroideas.

Hay ciertos elementos, presentes en cantidades minúsculas en el cuerpo (los oligoelementos) entre los que cabe mencionar: manganeso (Mn), cobre (Cu), cinc (Zn), cobalto (Co), flúor (F), molibdeno (Mo), selenio (Se) y otros.

el laboratorio. Por lo que la definición actual de **molécula orgánica** es cualquier molécula que contenga tanto carbono como hidrógeno. La mayoría de las moléculas orgánicas son grandes y con estructuras complejas como las proteínas y los ácidos nucleicos. Mientras que las **moléculas inorgánicas** comprenden el bióxido de carbono y todas las moléculas que no contienen carbono, como el agua. Las moléculas inorgánicas son menos complejas que la mayor parte de las moléculas orgánicas.

Moléculas inorgánicas

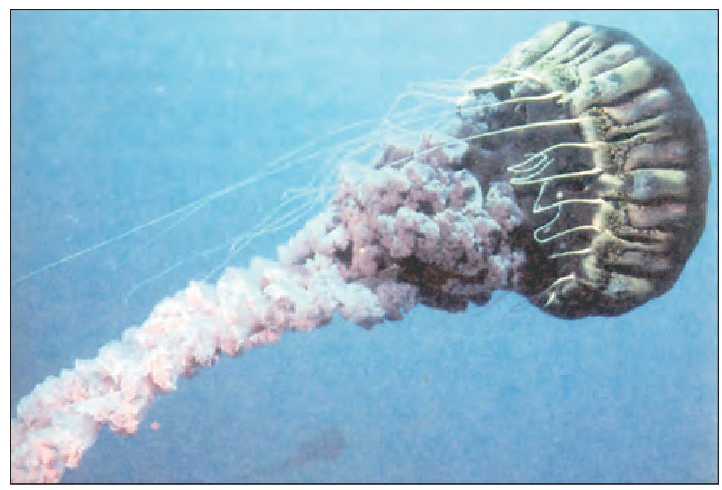


Figura 2.1 El agua es la molécula más abundante de los organismos. Aqui la fotografía de una medusa, animal marino cuyo cuerpo está constituido por 95% de agua.

En general, las moléculas inorgánicas que forman parte de la materia viva son los **minerales** sólidos o en disolución, los **gases** disueltos y el **agua**.

Minerales

Los **minerales** tienen un importante papel en la estructura y funcionamiento de los seres vivos. Los minerales sólidos como el calcio, magnesio y fósforo se encuentran en un promedio de 1% a 5% ya sea formando parte de órganos duros como huesos y dientes o como en las algas llamadas diatomeas, cuyas paredes celulares están formadas por sílice y manganeso.

Los minerales en disolución pueden ser metálicos o no metálicos, intervienen en muchas funciones de las que sólo mencionaremos algunas como:

- Mantener el equilibrio osmótico de las células y establecer estados físicos adecuados de membranas y citoplasmas (potasio, sodio y cloro); como activadores de enzimas de plantas y animales (potasio, magnesio, calcio, etc.).
- En la contracción muscular (potasio); en la fotosíntesis (principalmente: nitratos, sodio, magnesio, manganeso, etc.); en la coagulación de la sangre (calcio); en los fluidos del cuerpo animal (sodio, calcio, cloro, etc.).
- Para la absorción del fierro y en la formación de hemoglobina y citocromos (cobre); es necesario en la producción de flores y semillas y en la biosíntesis de hormonas vegetales (cinc); contribuye a la prevención de las caries (flúor), etc.

Gases

Los **gases**, componentes inorgánicos indispensables para la existencia de los seres vivos son: el **oxígeno** (O_2) y el **bióxido de carbono** (CO_2) que se utilizan en las funciones respiratoria y fotosíntesis, éstos pueden estar disueltos o integrarse a los organismos.

Agua

El **agua** es la molécula inorgánica más abundante en nuestro planeta ya que cubre las tres cuartas partes de la superficie de la Tierra. También es la molécula inorgánica más abundante en los organismos vivos ya que están compuestos de un 60% a 95% de agua aproximadamente. Este último porcentaje lo presentan animales como las medusas y algunas plantas. Excepcionalmente puede encontrarse en porcentajes más bajos como en algunas semillas y esporas latentes que contienen de 10% a 30% de agua.

En los seres humanos, aproximadamente 70% del peso del cuerpo está formado por agua. En el caso de los tejidos humanos, la proporción de agua varía entre 20% en el hueso y 85% en las células cerebrales. Existe en todos los fluidos de los organismos y forma parte del citoplasma.

El agua fue y es la clave del origen y existencia de la vida en nuestro planeta, las aguas oceánicas contienen los componentes químicos y condiciones adecuadas para la existencia y abundancia de ésta, en contraste con la escasez de seres vivos en regiones donde su existencia es mínima, tanto que se convierten en zonas desérticas.

El agua es esencial para que se lleve a cabo la **fotosíntesis**, que constituye el proceso básico de producción de moléculas orgánicas, ya sea para las plantas o para otros organismos que se alimentan de ellas. Además, el agua interviene como un **reactivo** o un **producto** en varias de las reacciones químicas que suceden en las células vivas. Por ejemplo, cuando nuestro cuerpo sintetiza proteínas, grasas, azúcares o ácidos nucleicos, produce agua durante el proceso (síntesis por deshidratación), y cuando ingiere estas moléculas orgánicas en los alimentos, el agua se utiliza en las reacciones llamadas de hidrólisis, durante las cuales estas moléculas son separadas en sus subunidades.

El agua, además de **disolver** una gran cantidad de sustancias, es un importante **vehículo de transporte** de éstas. Por ejemplo, en el caso de los productos de desecho del metabolismo ayuda a su eliminación, primero de las células y, después, del organismo.

También el agua actúa como un **lubricante** ya que se le halla en los líquidos del cuerpo dondequiera que un órgano se frote contra otro, así como en las articulaciones de los huesos.

Una molécula de agua está constituida por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno que se mantienen unidos por enlaces covalentes y cuya fórmula química es H_2O. La importancia del agua deriva de sus propiedades físicas y químicas, entre las que destaca la polaridad de la molécula al tener dos zonas ligeramente positivas y dos zonas ligeramente negativas (fig. 2.2).

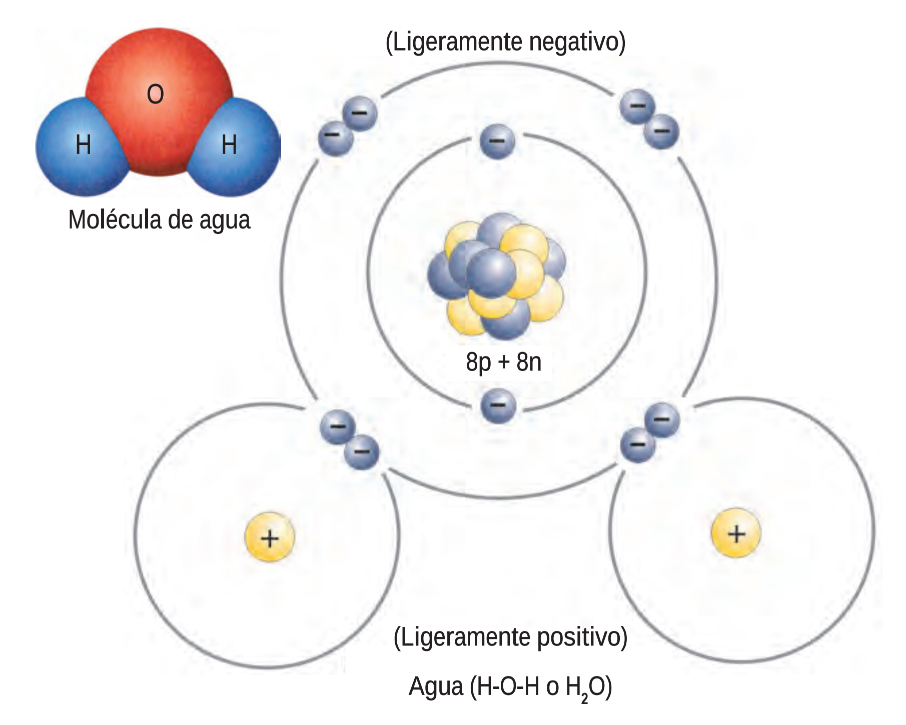


Figura 2.2 La molécula de agua es polar, ya que presenta dos polos uno negativo y otro positivo. Estos polos se forman debido a la fuerte atracción que ejerce el núcleo del oxígeno sobre los electrones que intervienen en los enlaces covalentes, los cuales pasan más tiempo alrededor del núcleo de oxígeno que el que pasan alrededor de los núcleos de hidrógeno. Por lo tanto, el extremo del átomo de oxígeno tiene carga ligeramente negativa y cada átomo de hidrógeno tiene carga ligeramente positiva. Además, el átomo de oxígeno tiene cuatro electrones adicionales en su nivel energético exterior, los cuales forman dos zonas ligeramente negativas.

Debido a su naturaleza polar, las moléculas de agua cercanas se atraen, de tal manera que los oxígenos de algunas moléculas cargados negativamente atraen a los hidrógenos de otras moléculas cargados positivamente. Esta atracción eléctrica recibe el nombre de **enlace** o **puente de hidrógeno**. Cada molécula de agua puede formar puentes de hidrógeno con otras cuatro moléculas de agua.

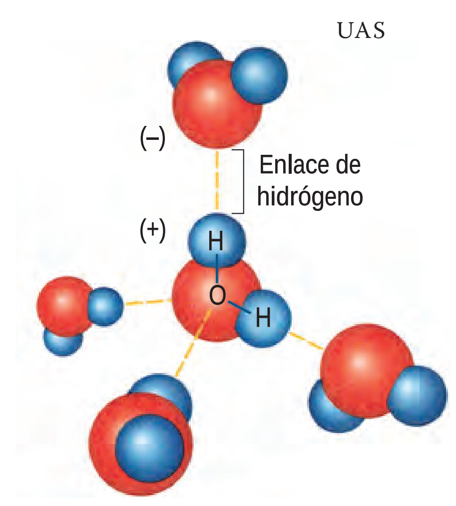


Figura 2.3 Ilustración que muestra los enlaces de hidrógeno que se forman entre las moléculas de agua. *¿Por qué las moléculas de agua se atraen entre sí?*

El agua es el mejor **solvente**, es decir, es capaz de disolver una gran cantidad de moléculas inorgánicas y orgánicas. La polaridad de la molécula de agua favorece la disociación de muchas moléculas formadoras de iones, los cuales participan en la regulación de propiedades biológicas como la contracción muscular, la permeabilidad y la transmisión de impulsos nerviosos. Al disolver una amplia variedad de moléculas, las sustancias acuosas dentro de una célula proporcionan un medio adecuado para las incontables reacciones químicas fundamentales para la vida.

Entre las propiedades físicas del agua están su calor específico y su calor de vaporización, las cuales la convierten en un eficiente estabilizador de la temperatura. Esto último es muy importante ya que los organismos pueden sobrevivir sólo dentro de un rango de temperatura limitado, ya que las enzimas proteicas que guían las reacciones químicas básicas para la vida dejan de funcionar tanto con las temperaturas elevadas como con las temperaturas bajas. El agua tiene un **calor específico** elevado, es decir, puede absorber grandes cantidades de calor sufriendo cambios relativamente pequeños en su temperatura. Esta propiedad se debe a la presencia de enlaces de hidrógeno entre las moléculas de agua, ya que cuando el calor entra a un sistema acuoso como una célula viva, mucha de la energía del calor rompe enlaces de hidrógeno en lugar de acelerar las moléculas individuales, lo que elevaría la temperatura. El alto contenido de agua en los organismos les ayuda a mantener una temperatura relativamente constante.

También el agua posee un **calor de vaporización** elevado, es decir, tiene la propiedad de absorber mucho calor cuando se cambia del estado líquido al gaseoso. Esto sirve para que la superficie del cuerpo se deshaga de grandes cantidades de calor durante la transformación del agua líquida (sudor) en vapor. Por ejemplo, un jugador de basquetbol durante el partido elimina agua a través de la piel en forma de sudor. La energía del calor producida durante el juego es transferida desde su piel al agua, la cual se evapora. Así, la evaporación tiene un efecto refrigerante ya que se "descarga" el exceso de calor y se estabiliza la temperatura del organismo.

Ionización del agua: ácidos y bases

El agua líquida tiene una leve tendencia a disociarse en iones. Sólo dos moléculas de cada mil millones de moléculas de agua se ionizan, es decir, se separan en dos iones: el ión hidrógeno (H^+) y el ión hidróxido (OH^-).

Esta reacción puede resumirse con una ecuación química en la cual se usan flechas dobles para mostrar que la reacción puede ocurrir en cualquier dirección:

agua (H_2O) ⇄ ión hidróxido (OH)$^-$ (–) + ión hidrógeno (H^+) (+)

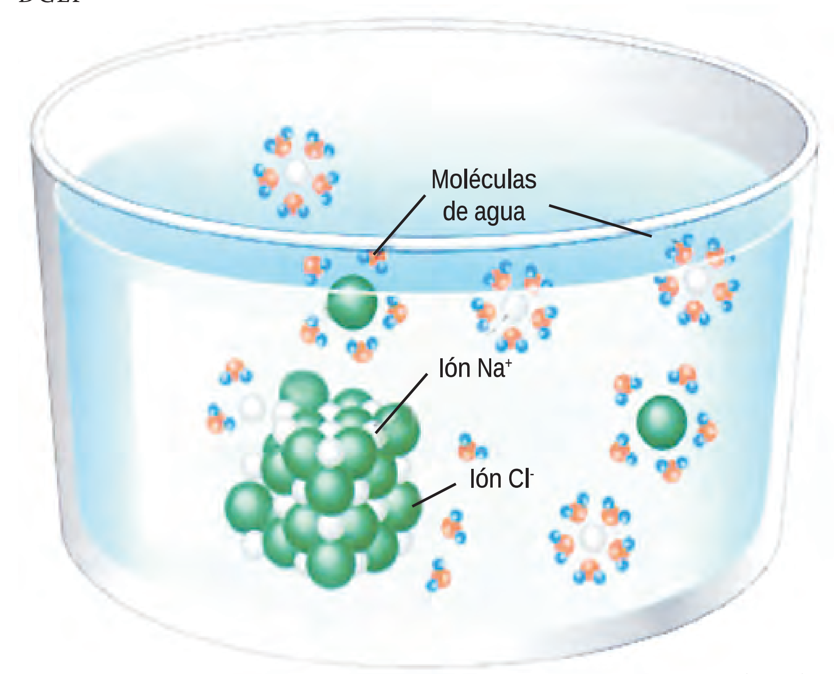


Figura 2.4 Cuando un cristal de cloruro de sodio o sal de mesa (NaCl) cae en el agua, los hidrógenos cargados positivamente de las moléculas de agua atraerán y rodearán los iones de cloro cargados negativamente; mientras que los oxígenos de las moléculas de agua, cargados negativamente, rodearán los iones de sodio con carga positiva. Cuando sucede esto, el agua evita que los iones de sodio y cloro vuelvan a unirse y, por lo tanto, la sal se disuelve.

En el agua pura, el número de iones hidrógeno es igual al número de iones hidróxido. Una solución donde la concentración de ambos iones es igual, es una solución **neutra**. Sin embargo, cuando una sustancia iónica o una sustancia con moléculas polares se disuelve en el agua, pueden cambiar las concentraciones de los iones H^{+} y OH^{-}. Si la concentración de iones H^{+} supera a la concentración de iones OH^{-}, la solución es **ácida**; si la concentración de iones OH^{-} es mayor, la solución es **básica**. Por ejemplo, cuando el ácido clorhídrico (HCl) se disuelve en agua pura, se ioniza casi completamente en iones hidrógeno (H^{+}) y cloruros (Cl^{-}). Esta solución tiene ahora mucho más iones H^{+} que iones OH^{-}. La solución que resulta es ácida. Ahora veamos cómo se forma una solución básica. Cuando el hidróxido de sodio (NaOH) se disuelve en agua, las moléculas de NaOH se separan en iones sodio (Na^{+}) y hidroxilos (OH^{-}). Los iones OH^{-} se combinan con iones H^{+} reduciendo su número. Por lo tanto, un **ácido** es una sustancia que cede iones hidrógeno y una **base** es una sustancia que se combina con iones H^{+} y, por lo tanto, reduce su número.

Escala de pH

La **escala del pH** es un sistema de medición ideado por químicos para indicar las concentraciones de iones hidrógeno en solución. Por lo tanto el pH de una solución es la medida de su concentración de iones hidrógeno. El símbolo “pH” deriva del francés *pouvoir hydrogene* (poder hidrógeno). La escala de pH es numérica y va del 0 (el nivel más ácido) al 14 (el nivel más básico), donde el número 7 representa una solución neutra (igual cantidad de H^{+} y de OH^{-}). Un número arriba de 7 representa una solución básica y un número debajo de siete representa una solución ácida. El pH de una solución puede medirse electrónicamente o con papel tratado en forma especial. Observa la escala de pH de la figura 2.5, donde se señala el pH de diversas sustancias.

¿Por qué es importante el pH en los seres vivos? Es importante porque la mayor parte de las reacciones químicas que se llevan a cabo en los seres vivos son muy sensibles a los cambios en el nivel del pH. Los pequeños aumentos o disminuciones mínimas en el pH pueden ocasionar cambios drásticos tanto en la estructura como en la función de la enzimas, lo que ocasiona la muerte de las células o de los organismos completos. Casi todas las reacciones de los seres vivos

tienen lugar a un pH entre 6 y 8. Una excepción es la del estómago de los seres humanos y otros animales, cuyas reacciones tienen lugar a un pH de 2. En nuestro organismo, tanto el citoplasma celular como los líquidos que bañan las células son casi neutros ya que su pH es de 7.3 aproximadamente.

Moléculas orgánicas

En todos los seres vivos se encuentran cuatro tipos principales de moléculas orgánicas: **carbohidratos**, **lípidos**, **proteínas** y **ácidos nucleicos**. Estas moléculas contienen carbono, hidrógeno y oxígeno. Además las proteínas, contienen nitrógeno y azufre; los ácidos nucleicos y algunos lípidos contienen nitrógeno y fósforo. Las moléculas orgánicas, en general, determinan la estructura y función de las células que integran a los seres vivos.

La mayoría de las moléculas orgánicas son grandes y se les conoce como **polímeros**, ya que están constituidas de subunidades más pequeñas, idénticas o similares llamadas **monómeros**.

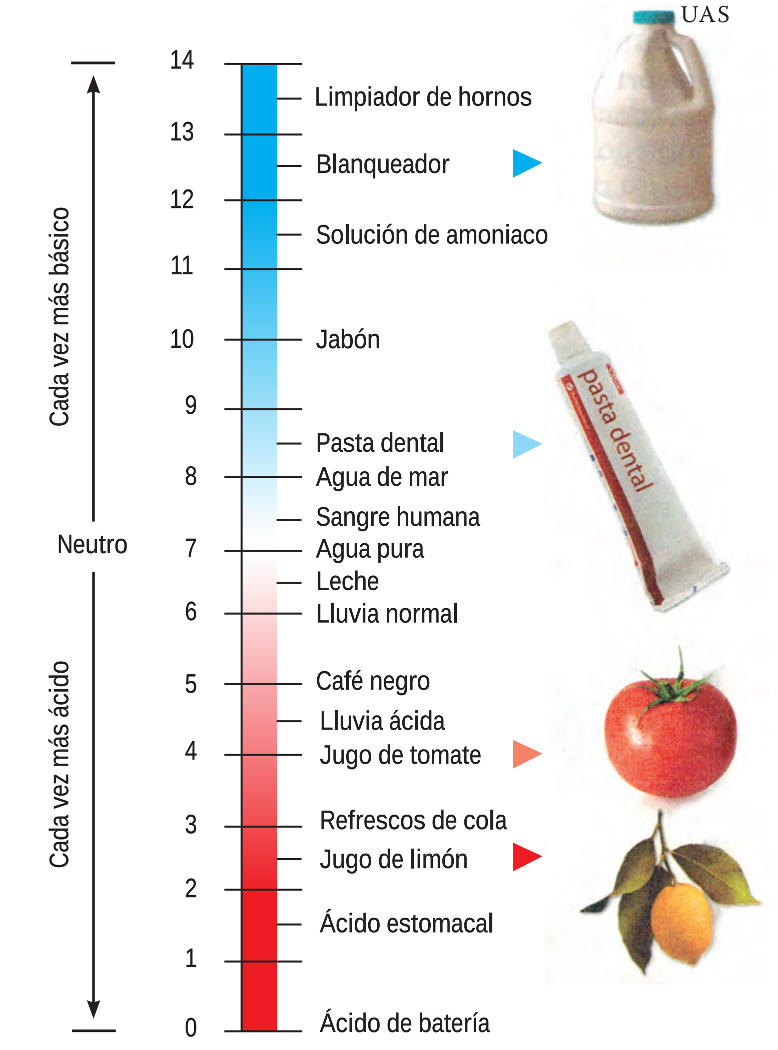


Figura 2.5 La escala de pH expresa la concentración de iones de hidrógeno de una solución en una escala de 0 a 14. Cada unidad en la escala de pH representa un cambio 10 veces mayor en la concentración de iones H^+. Por ejemplo, un refresco de cola que tiene un pH de 3, tiene 10 000 veces la concentración de H^+ que el agua pura. Mientras que el café tiene 100 veces más H^+ que el agua pura. *¿Cómo cambia el pH del café si le añades leche?*

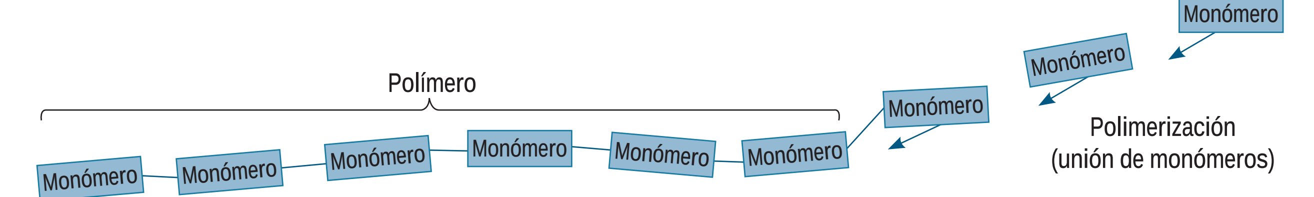


Figura 2.6 En la polimerización las moléculas pequeñas, llamadas monómeros, se unen para formar polímeros o macromoléculas (moléculas grandes).

Estas moléculas llevan a cabo dos tipos de reacciones químicas: la **síntesis por deshidratación**, mediante la cual se unen las subunidades que las constituyen, y la **hidrólisis**, que es la reacción inversa, mediante la cual las subunidades se separan. En la primera se pierde agua, de ahí su nombre; en la segunda se requiere de agua.

Carbohidratos

Los **carbohidratos**, también llamados **glúcidos**, están formados de átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno en proporción aproximada de un átomo de carbono por dos de hidrógeno y uno de oxígeno. La proporción de átomos de hidrógeno y átomos de oxígeno es de 2:1 como en el agua. Esto explica el origen del nombre carbohidrato, que significa "hidrato de carbono" o "carbono con agua". Uno de los carbohidratos que no cumple con esta proporción es la desoxirribosa ya que le falta un oxígeno.

Los seres vivos usan los carbohidratos como su principal fuente de energía. Se originan durante la fotosíntesis, mediante la cual se captura la energía radiante que se convierte en energía química y se almacena en ellos; para que posteriormente, por medio de otro proceso conocido como respiración, esa energía se pueda liberar para realizar las funciones biológicas.

Algunos carbohidratos son importantes en la formación de otros compuestos como en los ácidos nucleicos. También, forman parte de diversas estructuras de las células vivas como las paredes celulares en las que la celulosa es un componente muy importante.

Los carbohidratos se clasifican en tres tipos principales que se llaman **monosacáridos**, **disacáridos** y **polisacáridos**. La palabra "sacárido" se deriva de una palabra griega que significa azúcar.

Monosacáridos

Monosacárido significa que tiene un sólo monómero de azúcar. A los monosacáridos se les conoce también como azúcares simples porque son los carbohidratos más sencillos, es decir, no se pueden separar por hidrólisis en moléculas más pequeñas de azúcar.

Las moléculas de los monosacáridos generalmente contienen de 3 a 8 átomos de carbono, pero los de mayor importancia biológica son los de 5 y 6 átomos de carbono, conocidos como pentosas y hexosas respectivamente.

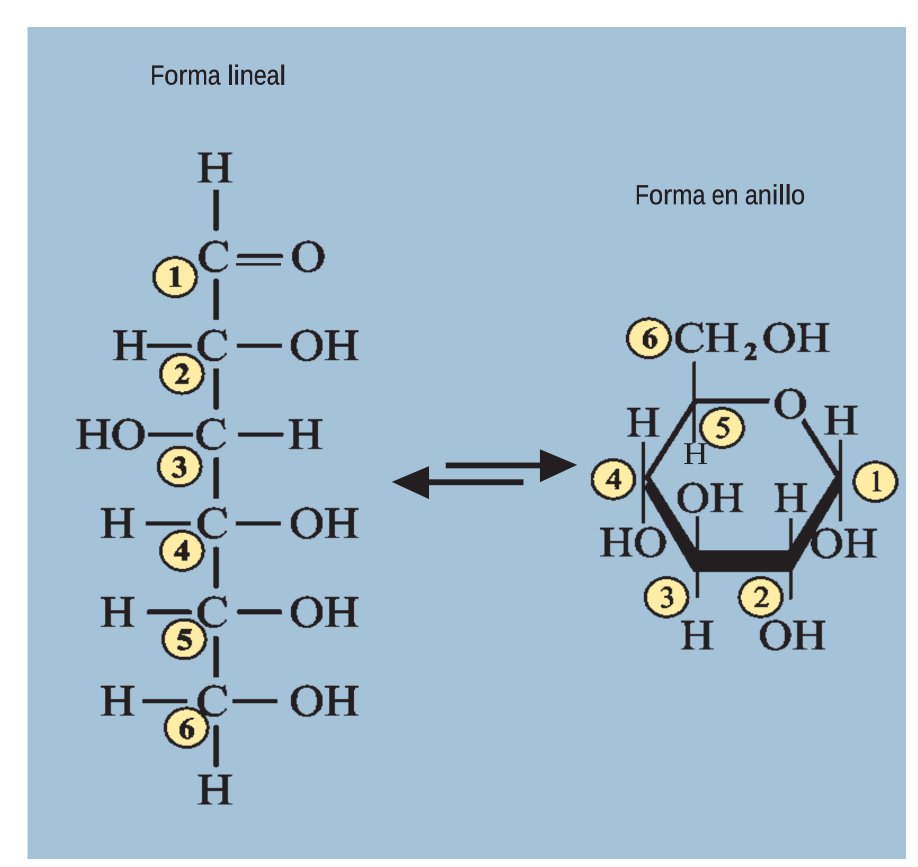


Figura 2.7 Los azúcares existen en la forma lineal y en anillo. La forma lineal de la glucosa es rara. Cuando se disuelven en agua casi todas las moléculas de glucosa se pliegan espontáneamente formando una estructura en anillo.

Las pentosas como la **ribosa** y la **desoxirribosa** forman parte de las moléculas genéticas llamadas ácido ribonucleico (ARN) y ácido desoxirribonucleico (ADN), respectivamente. Entre las hexosas más importantes para los seres vivos están la **glucosa** y la **fructosa**. La glucosa es el monosacárido más común de los seres vivos y es la subunidad de la que están hechos la mayor parte de los carbohidratos (disacáridos y polisacáridos). La glucosa es elaborada por las células de las plantas verdes durante la fotosíntesis y es el principal combustible tanto en células vegetales como animales. La fructosa se encuentra en las frutas y en la miel de maíz.

Disacáridos

Son carbohidratos que se forman de la unión de dos monosacáridos, los cuales estan unidos por medio de un **enlace glicosídico**. Los disacáridos se utilizan frecuentemente para el almacenamiento de energía a corto plazo, principalmente en los vegetales. Entre los disacáridos más comunes están la **sacarosa**, la **lactosa** y la **maltosa**. La **sacarosa** o **azúcar de mesa** es el disacárido más utilizado en la alimentación humana. Está compuesto por los monosacáridos glucosa y fructosa, y en la naturaleza abunda en plantas como la caña de azúcar y la remolacha. La **lactosa** o **azúcar de la leche**, constituida por glucosa y galactosa, se encuentra sólo en la leche de los mamíferos, ya que se forma exclusivamente en las glándulas mamarias de las hembras de estos animales. La **maltosa** o **azúcar de malta** está constituida por dos moléculas de glucosa; se le encuentra en la malta, materia prima en la elaboración de la cerveza. También se obtiene durante la digestión del almidón.

Un disacárido se elabora mediante la **síntesis por deshidratación**, reacción en la que se elimina una molécula de agua. Cuando los disacáridos son utilizados como fuente de energía, los monosacáridos que los constituyen se separan mediante una reacción de **hidrólisis**, en la cual se añade una molécula de agua. Observa estas dos reacciones en la siguiente figura.

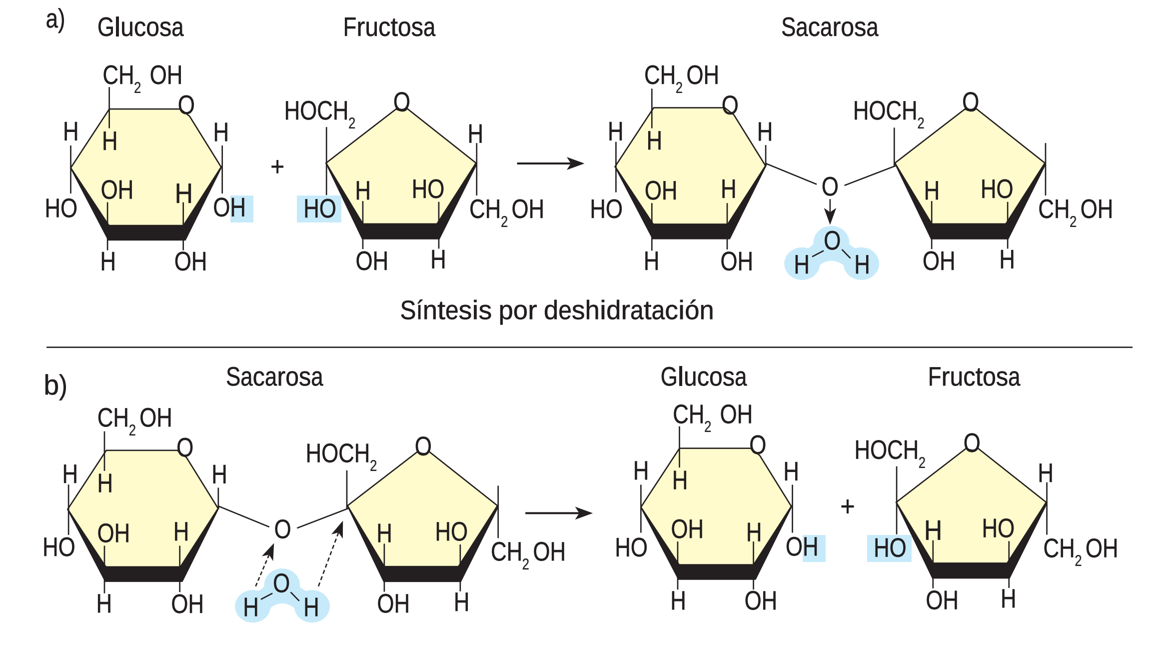


Figura 2.8 a) Síntesis de la sacarosa y b) hidrólisis de la sacarosa.

Polisacáridos

En la naturaleza, la mayoría de los carbohidratos estan en la forma de **polisacáridos**. Los cuales se forman por la unión en cadena de muchos monosacáridos, principalmente **glucosa**. Estos carbohidratos funcionan como fuente y almacenamiento de energía y como soporte estructural de los organismos.

El polisacárido más utilizado en la alimentación, es el **almidón**, que puede presentarse enrollado o como cadenas sin ramificaciones de hasta 1000 subunidades de glucosa o, más frecuentemente como cadenas ramificadas las cuales pueden estar constituidas por hasta medio millón de monómeros de glucosa. El almidón es la principal reserva alimenticia de la mayoría de las plantas. Alimentos como las papas, el arroz, el maíz y el trigo son ricos en almidón, cuyas unidades de glucosa son sintetizadas en la fotosíntesis. Cuando estos alimentos son ingeridos por un animal, el organismo lo degrada durante la digestión hasta disacáridos o monosacáridos.

El **glucógeno** es la principal forma de almacenamiento de glucosa en la mayoría de los animales; tiene una estructura mucho más ramificada que el almidón. En los vertebrados, el glucógeno se produce en el hígado y se almacena en él y en los músculos. Cuando el organismo requiere de energía extra, el hígado hidroliza el glucógeno en glucosa.

Uno de los polisacáridos estructurales más importantes es la **celulosa**, que forma la mayor parte de las paredes celulares de las plantas y aproximadamente la mitad de la masa del tronco de un árbol.

Debido a la gran cantidad de flora (campos, bosques, selvas, etc.) presente en nuestro planeta, la celulosa, es considerada la molécula orgánica más abundante en la Tierra.

La celulosa está formada por muchas cadenas de glucosa colocadas una junto a otra y unidas por puentes de hidrógeno. En conjunto, los enlaces estabilizan las cadenas y forman macizos compactos que se organizan en fibras.

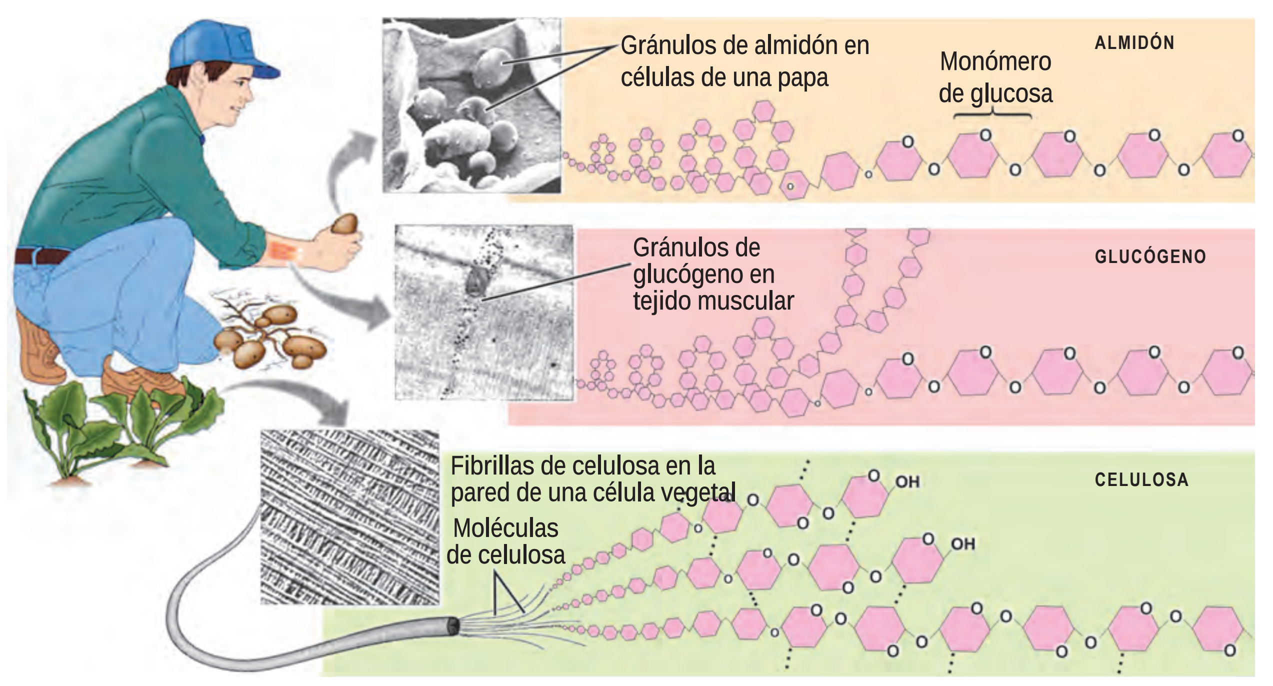


Figura 2.9 Compara y contrasta la estructura del almidón, el glucógeno y la celulosa.



Figura 2.10 Fotografía de una cigarra que acaba de mudar su cubierta externa o exoesqueleto de quitina. Este se muda periódicamente para que el insecto pueda crecer.

Sólo pocos microorganismos (ciertas bacterias, protozoarios y hongos) pueden hidrolizar la celulosa. Las vacas y otros rumiantes, las termitas y las cucarachas pueden utilizar la celulosa como fuente de energía debido a las bacterias simbióticas que viven en sus sistemas digestivos, las cuales digieren la celulosa, es decir, rompen los enlaces entre las moléculas de glucosa.

En los animales, el polisacárido estructural más abundante es la **quitina**, principal componente de los exoesqueletos de los artrópodos como los insectos, cangrejos y arañas. La quitina también se encuentra formando parte de las paredes celulares de muchos hongos. Este polisacárido resistente y duro tiene una estructura parecida a la celulosa, sólo que en la quitina las glucosas tienen agregado un grupo amino.

Lípidos

Los **lípidos** son una gran variedad de moléculas insolubles en agua, pero que se disuelven fácilmente en solventes orgánicos como el cloroformo o el éter. Al igual que los carbohidratos, están formados de carbono, hidrógeno y oxígeno, aunque pueden contener otros elementos como el fósforo. Las unidades de construcción de los lípidos son los **ácidos grasos** y el **glicerol**, principalmente. Los lípidos realizan diversas funciones, entre estas tenemos el almacenamiento de energía, algunos actúan como mensajeros químicos (hormonas) y mu-

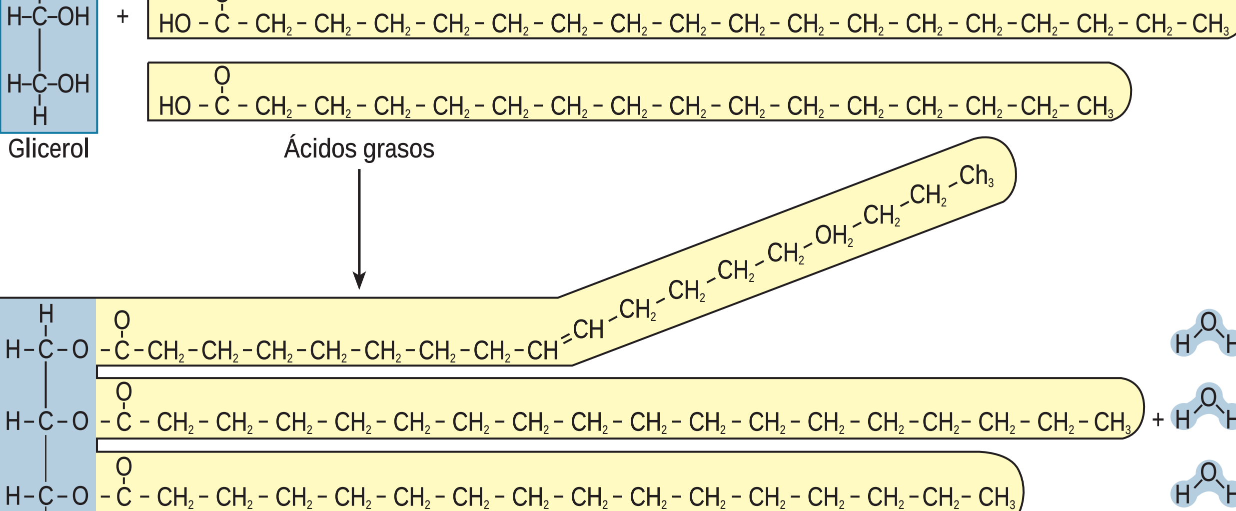


Figura 2.11 En la síntesis de una grasa o un aceite participan una molécula de glicerol y tres ácidos grasos.

chos otros forman parte de las membranas celulares. Las principales clases de lípidos son: **grasas** y **aceites**, **fosfolípidos**, **ceras** y **esteroides**.

Grasas y aceites

Las **grasas** y los **aceites** están constituidos de tres moléculas de ácidos grasos unidas a una molécula de glicerol. Debido a esta estructura, reciben el nombre químico de **triglicéridos**. Las grasas a temperatura ambiente son sólidas y los aceites a la misma temperatura son líquidos. Esto se debe a los tipos de ácidos grasos que los constituyen; en las grasas, los ácidos grasos son **saturados** (con enlaces simples en sus cadenas de carbonos), y en los aceites son **insaturados** (con enlaces dobles o triples en sus cadenas de carbonos). Los aceites son más comunes en las plantas que en los animales, son ejemplos el aceite de linaza, de olivo, de maíz, de girasol, etc. Las grasas las encontramos en la carne de los animales como la res y el cerdo (manteca, tocino).

Las grasas y los aceites almacenan energía en los organismos. Estas moléculas producen más del doble de la energía, por gramo, que los carbohidratos. Además, las grasas en los mamíferos acojinan y protegen los órganos internos como los riñones y forman una capa que se encuentra debajo de la piel, la cual sirve como aislante térmico, es decir, protege al organismo contra las bajas temperaturas del ambiente. Esta capa de grasa está muy desarrollada en los mamíferos marinos como las focas y las ballenas.

Cuando se ingieren más carbohidratos que los que requiere el organismo, éste los transforma y almacena como grasas en el tejido adiposo. En los animales, durante la digestión, los lípidos pueden ser hidrolizados hasta glicerol y ácidos grasos.

Fosfolípidos

Los **fosfolípidos** son componentes estructurales muy importantes de la membrana plasmática y otros sistemas membranosos de la célula.

Los fosfolípidos son parecidos a las grasas y aceites, ya que están formados por dos ácidos grasos unidos a un glicerol, sólo que en estos, el tercer carbono de la molécula de glicerol está ocupado por un grupo fosfato. Este extremo fosfato es hidrofílico, mientras que los ácidos grasos son hidrofóbicos. Esta característica de los fosfolípidos es importante para la estructura y función de la membrana plasmática.

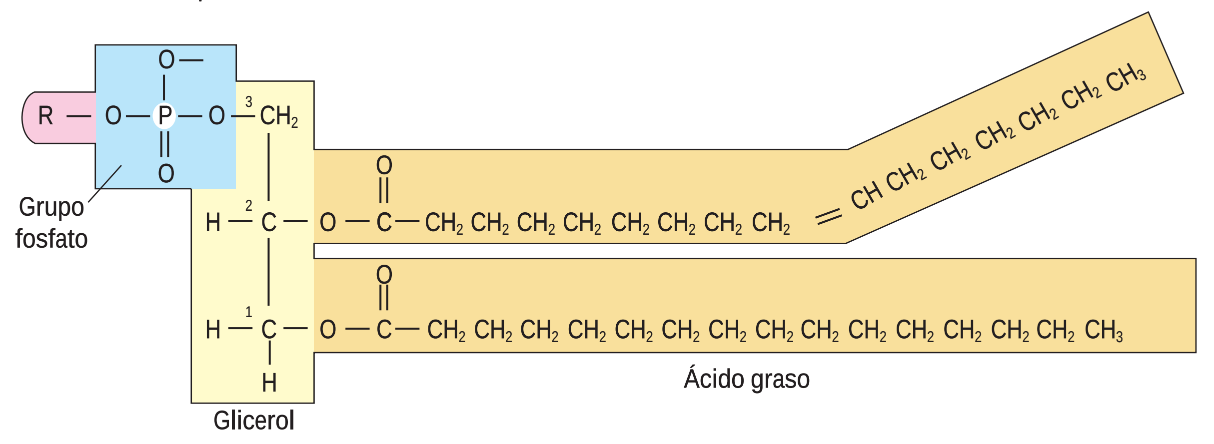


Figura 2.12 La molécula de un fosfolípido está formado por dos ácidos grasos unidos a una molécula de glicerol y por un grupo fosfato unido al tercer carbono del glicerol.

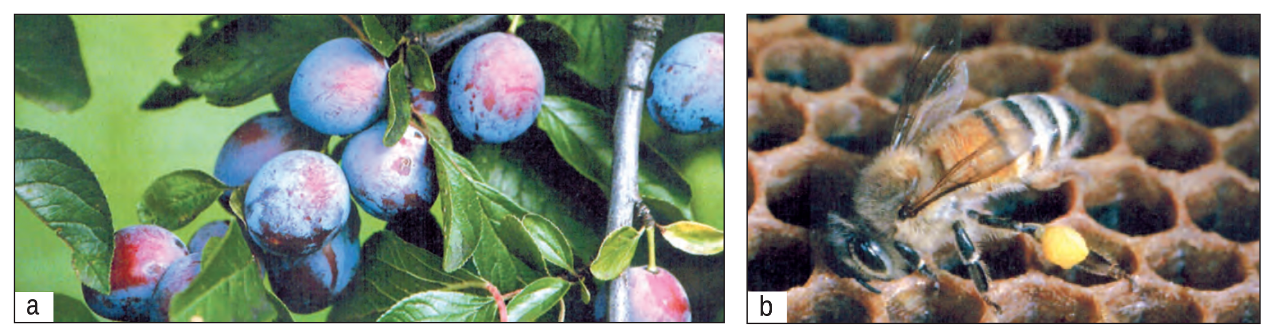


Figura 2.13 Las ceras son un tipo de lípidos. a) Observa la capa de cera que protege las frutas de la fotografía. b) Las abejas secretan la cera con la que construyen sus panales.

Ceras

Las **ceras** están constituidas de ácidos grasos unidos a un alcohol diferente al glicerol. Las ceras son sintetizadas tanto por animales como por plantas; en algunos animales forman una capa protectora e impermeable sobre la piel, pelo, plumas y exoesqueletos, mientras que otros como las abejas la utilizan para construir sus panales. En las plantas terrestres, las ceras forman una capa resistente al agua sobre hojas, frutos y tallos.

Esteroides

Los **esteroides** poseen una estructura muy diferente a todos los otros lípidos, pero se les clasifica dentro de ellos debido a que son insolubles en agua. Están formados de cuatro anillos de carbono fusionados, tres de los cuales poseen seis átomos y uno, cinco. Dentro de los esteroides tenemos el **colesterol** que es un componente estructural indispensable de la membrana plasmática de la mayor parte de las células eucariotas. El colesterol también es utilizado por las células para sintetizar otros esteroides como las hormonas sexuales, que regulan la función y el desarrollo sexual.

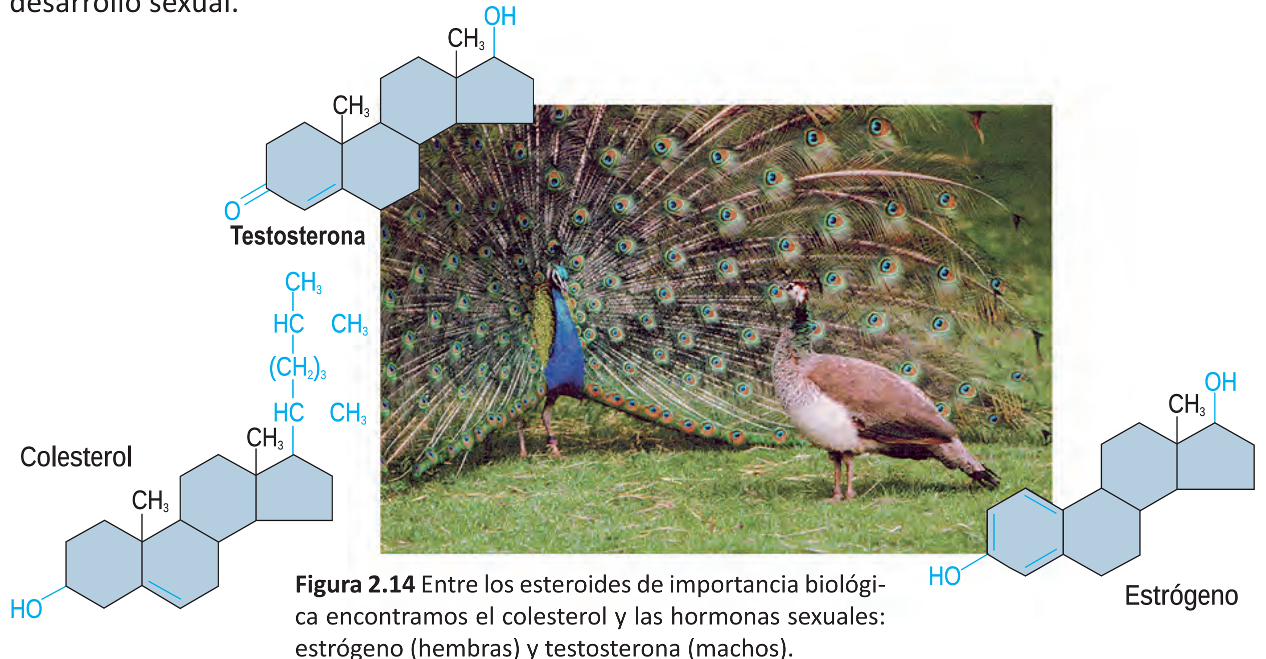
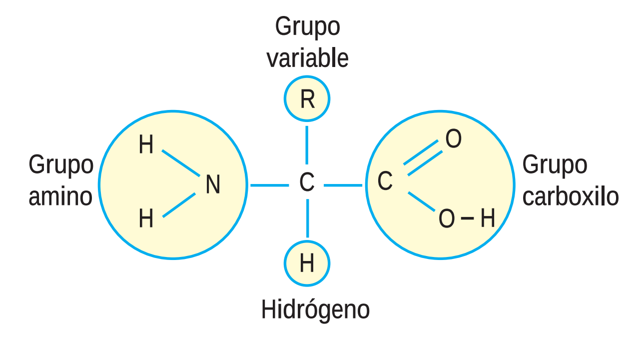


Figura 2.14 Entre los esteroides de importancia biológica encontramos el colesterol y las hormonas sexuales: estrógeno (hembras) y testosterona (machos).

Proteínas

Las **proteínas** son las moléculas orgánicas más abundantes en los seres vivos y están formadas casi exclusivamente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Todas las proteínas son polímeros constituidos por muchas subunidades (monómeros) llamados **aminoácidos**. En la formación de las proteínas que se encuentran en los seres vivos, intervienen 20 aminoácidos, los cuales tienen la misma estructura fundamental, que consiste de un átomo de carbono central unido a un grupo amino (NH_2), uno carboxilo (COOH), un hidrógeno y a un grupo "R" que es variable. Por lo que su estructura es:



La única diferencia entre los 20 aminoácidos radica en su grupo R. Observa la siguiente figura que muestra la estructura de tres aminoácidos.

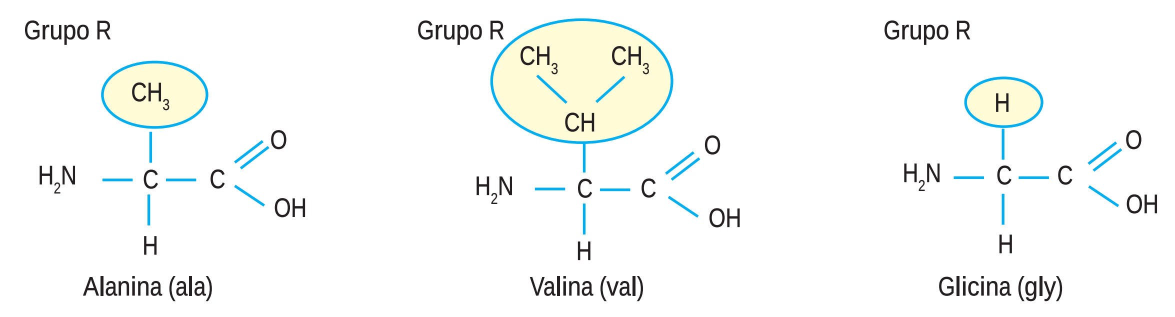


Figura 2.15 Tres ejemplos de aminoácidos: alanina, valina y glicina. *¿Cuál es el grupo R en la glicina?*

Al igual que los lípidos y los polisacáridos, las proteínas se forman mediante síntesis por deshidratación, en la cual se desprende un –OH del grupo carboxilo del primer aminoácido y un –H del grupo amino del siguiente aminoácido. El H y el OH forman una molécula de agua. El enlace formado entre los átomos de C y N de los grupos carboxilo y amino se llama **enlace peptídico** y el compuesto formado es un **péptido** (figura 2.17). En este caso es un **dipéptido** ya que sólo está constituido por dos aminoácidos. De esta manera se unen de uno en uno los aminoácidos hasta formar cadenas muy largas. La longitud de estas cadenas peptídicas varían desde tres a miles de aminoácidos. Cuando la cadena tiene hasta 100 aminoácidos, se le llama **polipéptido**; si la cadena tiene más de 100 aminoácidos unidos, se le considera una **proteína**. De tal manera que el tipo y características de las diversas proteínas que existen dependerán de la secuencia específica de las uniones entre los distintos aminoácidos y de la conformación dimensional de éstos; siendo enorme la posibilidad de combinaciones entre los diferentes ami-

noácidos, algo semejante a la posibilidad de formar palabras con 20 letras diferentes. Por ejemplo, sólo los seres humanos elaboramos aproximadamente unos 5 millones de proteínas diferentes, las cuales son sintetizadas en los ribosomas de nuestras células.

En general, las diferencias estructurales de las proteínas son más marcadas conforme más alejados se encuentren los organismos evolutivamente, pero aun entre los individuos que integran una sola especie existen diferencias importantes que pueden provocar el rechazo de las proteínas de un individuo a otro, como en los diferentes tipos sanguíneos, injertos y trasplantes de órganos.

Las proteínas son compuestos básicamente **estructurales**, se encuentran prácticamente en todas las estructuras celulares y desempeñan un papel fundamental en los procesos vitales.

A nivel celular, las proteínas se encuentran formando parte de las membranas del citoplasma y los diferentes organelos como mitocondrias, ribosomas, centríolos, etc. En organismos animales forman estructuras como piel, uñas, cabello, lana, cuernos, garras, plumas, etc. La seda de las telarañas también es una proteína.

Figura 2.16 *¿Qué proteína es el componente principal del pico, plumas y garras de este tucán?*

También es importantísima su acción como **enzimas**, ya que estas actúan como catalizadores que controlan las velocidades de casi todas las reacciones químicas que suceden dentro de la célula y, de esa forma, regulan el flujo de moléculas necesarias para la vida de la célula.

Otras proteínas actúan como defensas del organismo formando **anticuerpos** que ayudan a combatir enfermedades e infecciones. Algunas más son **hormonas** como la insulina (regula el metabolismo del azúcar y cuya deficiencia es una causa de la diabetes) y la hormona del crecimiento. Otras se utilizan para **almacenamiento de energía** (albúmina de los huevos, la caseína de la leche), para **transportar** (la hemoglobina presente en los eritrocitos lleva el oxígeno en la sangre), y muchas otras proteínas son venenos, como el de la víbora de cascabel.

Los animales, en general, adquieren los aminoácidos necesarios por medio de su alimentación casi siempre en forma de proteínas, éstas también pueden actuar en los organismos como una fuente de energía.

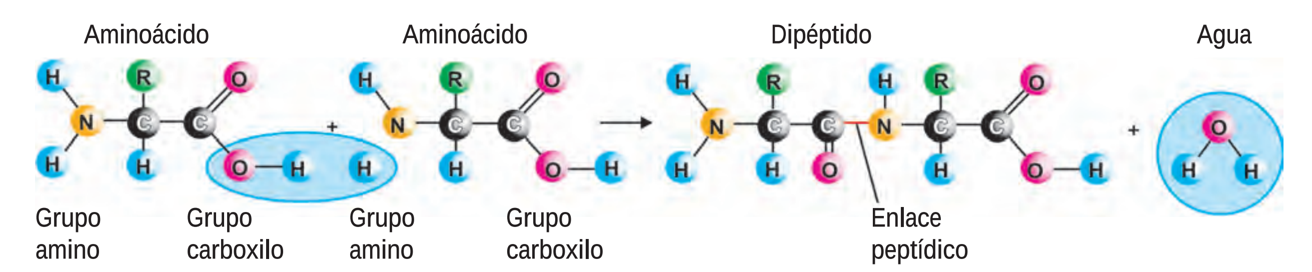


Figura 2.17 Síntesis proteica por deshidratación. Cada vez que un aminoácido se une a la cadena, se elimina una molécula de agua.

Ácidos nucleicos

Los ácidos nucleicos son moléculas muy complejas de las que hay dos tipos, el **ácido desoxirribonucleico** o **ADN** y el **ácido ribonucleico** o **ARN**. Estos dos ácidos nucleicos están formados por cadenas largas de cientos de miles de subunidades llamadas **nucleótidos**. A su vez, cada nucleótido está formado por un grupo fosfato, un azúcar y una base nitrogenada. El azúcar puede ser **ribosa** o **desoxirribosa**. La primera se encuentra en los nucleótidos del ARN y la segunda en los del ADN. Las bases nitrogenadas son cinco: la **adenina** y la **guanina**, conocidas como **purinas**; la **timina**, la **citosina** y el **uracilo**, que se conocen como **pirimidinas**. Los nucleótidos de ambos ácidos nucleicos están constituidos por sólo cuatro bases. La adenina, guanina y citosina se encuentran tanto en el ADN como en el ARN, mientras que la timina se encuentra sólo en el ADN y el uracilo sólo en el ARN. En los dos ácidos, los nucleótidos se enlazan entre sí por medio de los grupos fosfato que se unen en el carbono número 5 de un azúcar y el carbono número 3 del azúcar siguiente, conectándose las bases en el primer carbono del azúcar (figura 2.19).

El ADN es el principal componente de los cromosomas de las células y es el portador de la información genética. Está formado por dos largas cadenas de nucleótidos colocadas en espiral, estructuralmente independientes, que forman una doble hélice parecida a una escalera de caracol. Las dos bandas de polinucleótidos están conectadas por la unión de las bases púricas y pirimídicas, las cuales se combinan mediante puentes de hidrógeno de la siguiente forma: la adenina con la timina (A-T o bien T-A), y la guanina con la citosina (G-C o también C-G). La cantidad y secuencia de las combinaciones de estas cuatro bases varían en cada gen de acuerdo al modelo de Watson y Crick (figura 2.20).

Esta secuencia y cantidad de combinaciones de las bases púricas y pirimídicas del ADN, contiene el "mensaje en clave" de las características hereditarias de cada individuo y es lo que se conoce como código genético.

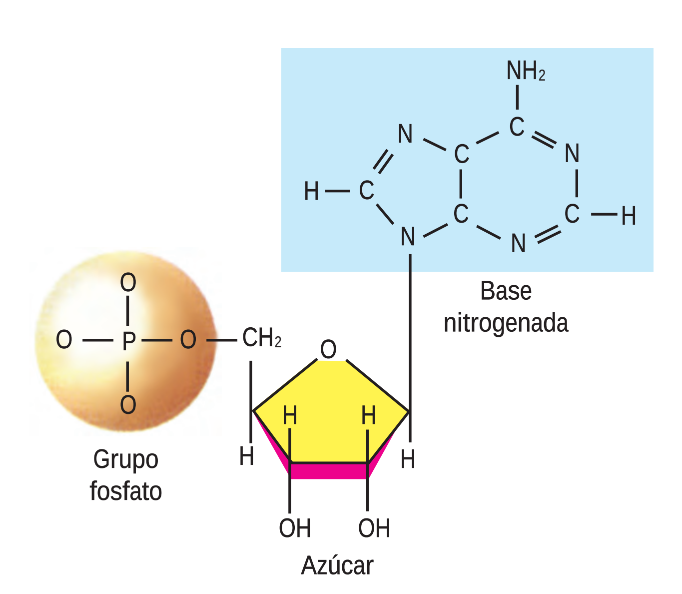


Figura 2.18 Estructura de un nucleótido de ARN, constituido por un grupo fosfato, un azúcar (ribosa) y una base nitrogenada en este caso la adenina.

El ARN, que también se encuentra en las células de cualquier organismo tiene como función llevar la información genética del ADN hacia el citoplasma y dirigir la síntesis de proteínas. Este ácido nucleico que se sintetiza en el núcleo está formado por una sola cadena de nucleótidos, los cuales están constituidos -como ya se mencionó- por un grupo fosfato, el azúcar ribosa y por una base que puede ser adenina, guanina, citosina o uracilo.

Tanto el ADN como el ARN se estudian con mucho más detalle en la unidad 4, *Genética: la ciencia de la herencia*.

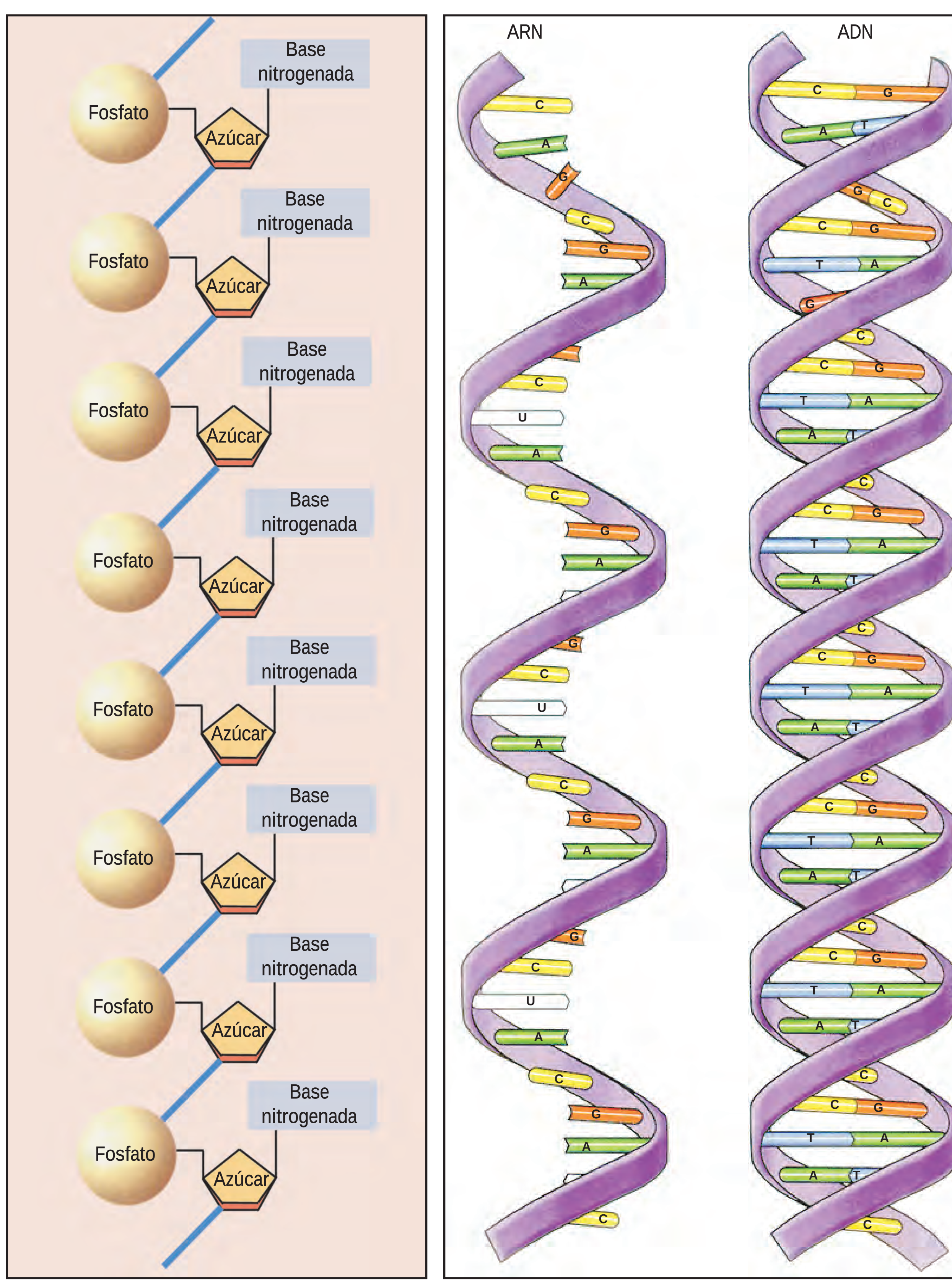


Figura 2.19 Cadena de nucleótidos.

Figura 2.20 Modelo del ARN y del ADN.

Autoevaluación

Repaso de la unidad

Contesta las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles son los elementos principales de la vida?

    ____

2. ¿Qué importancia tiene el agua para los seres vivos?

    ____

3. ¿Qué es el pH?

    ____

4. ¿Cuál es la importancia biológica de la glucosa?

    ____

5. Menciona algunas diferencias entre las grasas y los aceites.

    ____

6. ¿De qué estructura celular forman parte los fosfolípidos ?

    ____

7. ¿Por qué las proteínas se consideran polímeros pero los lípidos no?

    ____

8. Menciona algunas funciones de las proteínas.

    ____

9. ¿Cuál es la función del ADN?

    ____

Completa los espacios en blanco de los siguientes enunciados:

10. Las principales móleculas orgánicas que constituyen a los seres vivos son:______________, ______________, ______________ y ____________________.
11. La sacarosa o azúcar de mesa esta constituida por los monosacáridos ____________ y ____________________.

12. Los 20 ________________ se combinan de diferentes maneras formando largas cadenas de _________________.
13. El ________________ es un polisacárido presente en los animales.
14. Las ____________ son proteínas que actúan como catalizadores.
15. Los dos tipos de ácidos nucleícos son: ___________________ y ____________________. Estan formados por cadenas de ________________.

Indica cual de las siguientes afirmaciones son verdaderas (v) o falsas (f).

16. El cloro es un oligoelemento en los seres vivos. ( )
17. El agua es un importante vehículo de transporte y además actúa como lubricante. ( )
18. Una solución ácida posee mayor concentración de iones H^+ que de OH^- .
19. La cera de abeja y el colesterol son lípidos. ( )
20. Los ácidos grasos de los aceites son insaturados. ( )
21. Los monosacáridos se pueden separar mediante hidrólisis en moléculas más pequeñas de azúcar. ( )
22. Todas las proteínas son polímeros constituidas de monómeros de aminoácidos. ( )
23. Cada nucleótido está formado por un grupo fosfato un disacárido y una base nitrogenada. ( )
24. La base nitrogenada uracilo solo se encuentra en el ADN. ( )
25. La desoxirribosa es un monosacárido que forma parte del ARN. ( )

En la siguiente sopa de letras, localiza la respuesta de lo que se te pide:

26. Así se les conoce a las moléculas orgánicas grandes.
27. Es un ejemplo de pentosa.
28. Es el nombre del enlace que se forma entre dos monosacáridos.
29. Polisacárido que forma la mayor parte de las paredes celulares de las plantas.
30. Es el polisacárido estructural más abundante en los animales.
31. Las enzimas y los anticuerpos son ejemplos de:
32. Enlace formado entre dos aminoácidos.
33. Base nitrogenada exclusiva del ADN.
34. La adenina, guanina y ___________ se encuentran tanto en el ADN como en el ARN.
35. Es el principal componente de los cromosomas de la célula y es el portador de la información genética.

C	P	R	O	T	E	I	N	A	S	E	R
E	L	E	F	A	N	T	I	L	T	A	R
L	C	I	T	O	C	I	N	A	I	N	B
U	R	E	R	I	B	O	S	A	M	A	S
L	O	S	P	E	P	T	I	D	I	C	O
O	R	I	Z	A	B	A	V	E	N	Y	A
S	U	E	Q	U	I	N	T	E	A	R	U
A	G	L	U	C	O	S	I	D	I	C	O
B	E	S	I	T	I	D	O	B	L	A	D
C	A	S	T	I	L	A	U	R	A	D	N
P	O	L	I	M	E	R	O	S	I	M	O
A	U	B	N	U	E	N	B	A	S	T	I
V	E	N	A	T	A	H	J	O	S	I	E

Aplicación de conceptos

36. En base al pH, que desventajas tiene para el organismo humano la ingestión de refrescos de cola.

____

37. Al realizar ejercicio, como ayuda el sudor a regular la temperatura corporal.

____

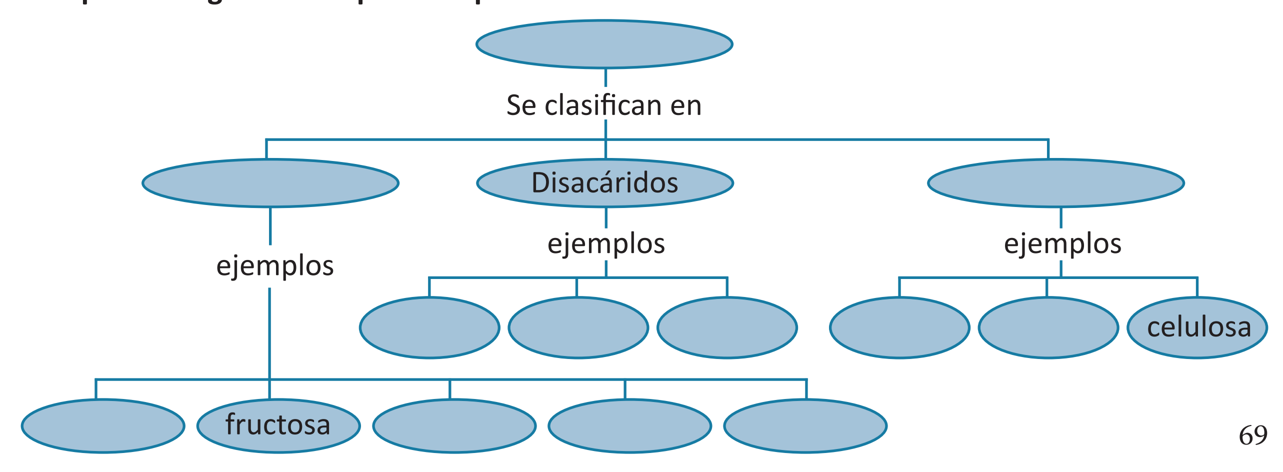
38. ¿Por qué los corredores de largas distancias deben comer más cantidad de carbohidratos que lo que acostumbran, días antes de la carrera?

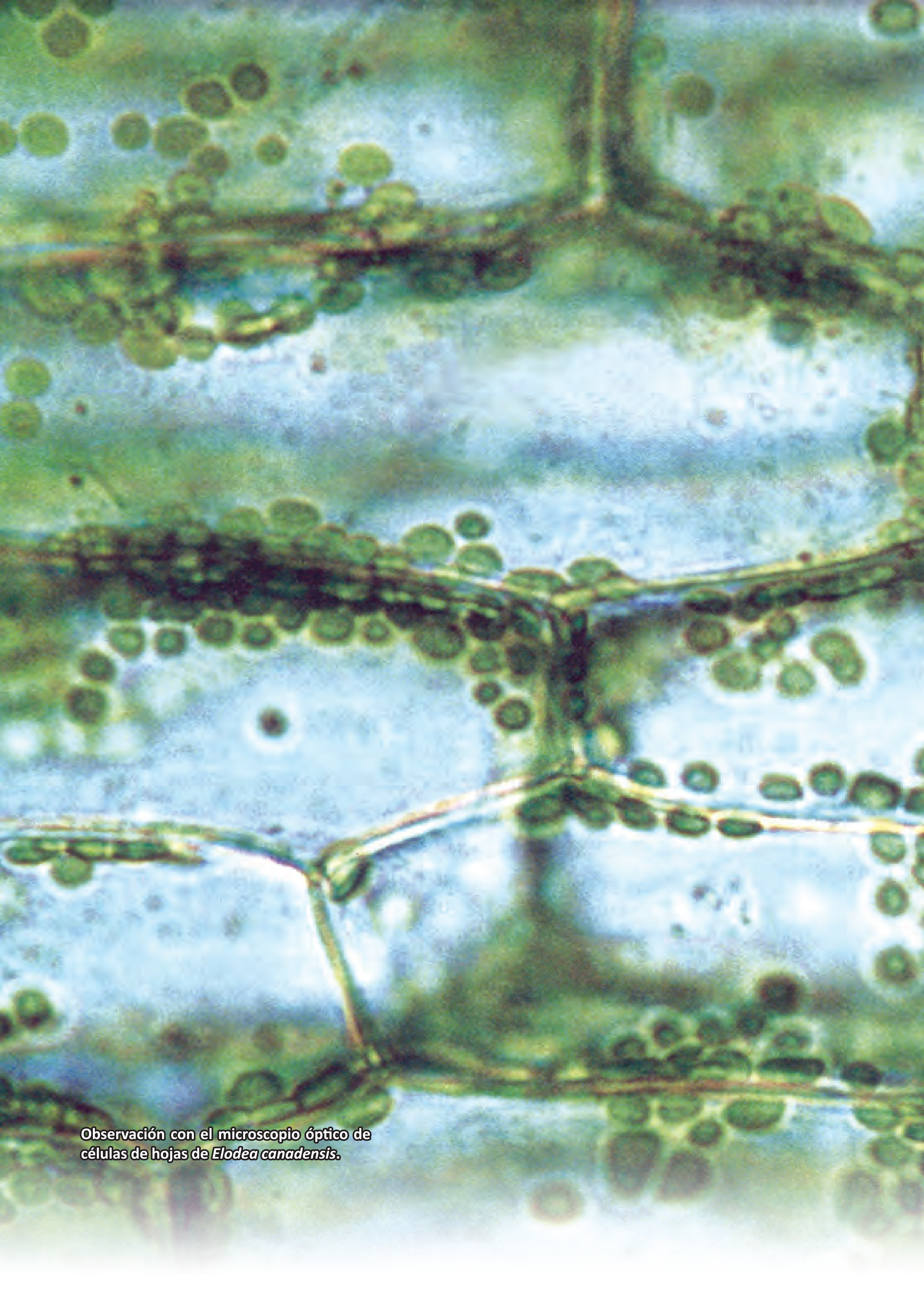
____

39. Muchas aves realizan largas migraciones, por lo cual almacenan grandes cantidades de energía para poder volar. ¿En qué tipo de moléculas se almacena esta energía?

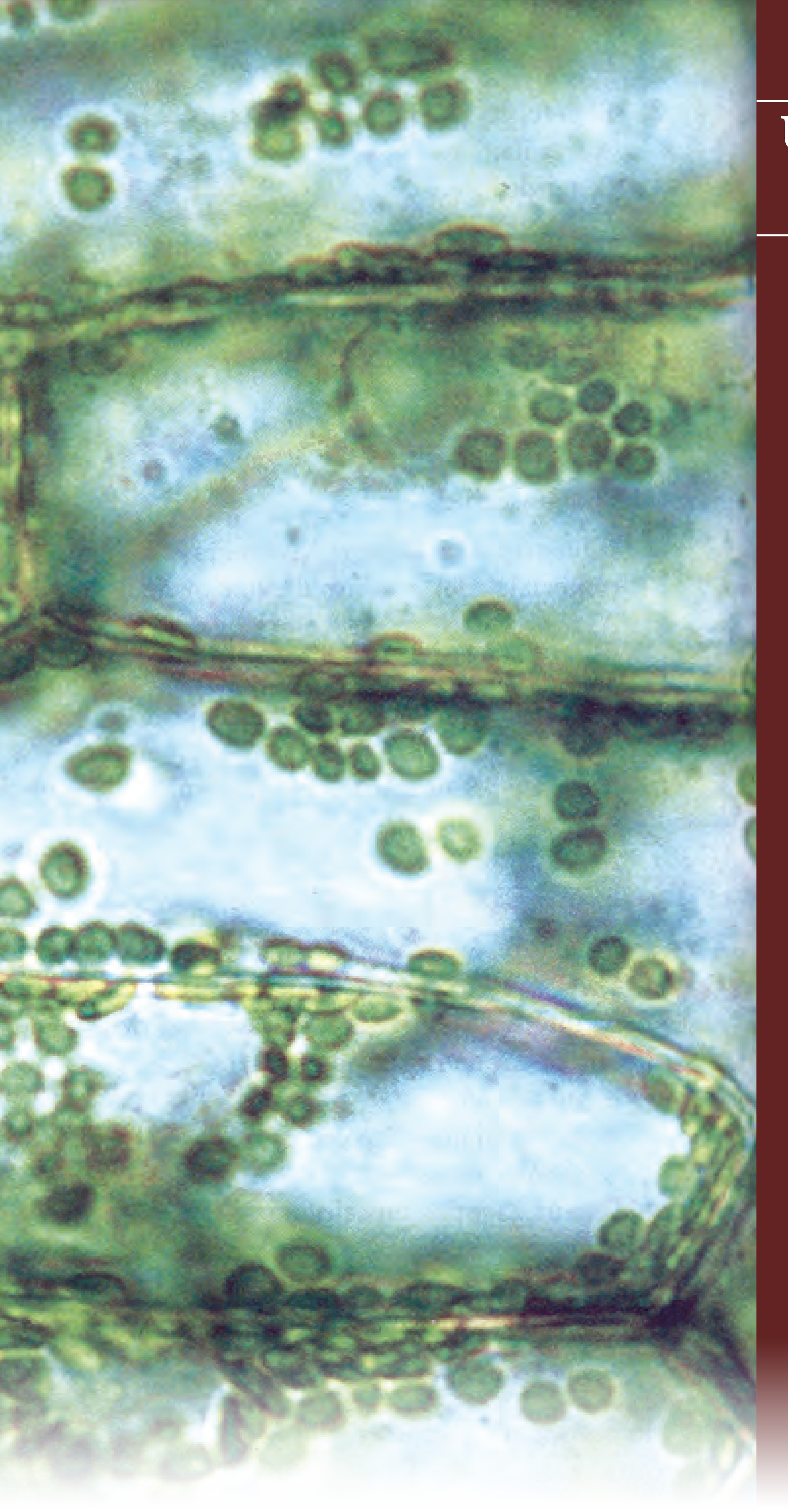
____

Completa el siguiente mapa conceptual.





Observación con el microscopio óptico de células de hojas de *Elodea canadensis*.



UNIDAD 3

La célula: unidad de la vida

La célula: unidad de la vida

Introducción

La biología comprende todas las disciplinas dedicadas al estudio de los organismos vivos. Dichas disciplinas se denominan, también, ciencias de la vida. Una de esas ciencias de la vida que más han contribuido a la visión unificadora del mundo de los seres vivos es la que estudia a la célula. Tradicionalmente se le ha dado el nombre de **citología** pero actualmente se le conoce como **biología celular**. Es en este campo de estudio donde se representan los diversos aspectos explicativos de los fenómenos que ocurren en los seres vivos. Además, la teoría celular integra el cuerpo científico de la biología y es uno de los pilares teóricos de esta ciencia. La biología moderna, en realidad despega a principios del siglo XIX y sus orígenes están asociados a grandes investigadores como Schwann, Schleiden y Virchow con el establecimiento de la teoría celular.

El avance científico de la biología celular se hizo posible gracias a la invención del microscopio y a los trabajos publicados por **Robert Hooke** en 1667, quien fue el primero en utilizar el término de **célula**. Durante los ciento cincuenta años siguientes, tres microscopistas sobresalientes (Nehemiah Grew, Marcelo Malpigui y Anton van Leeuwenhoek) describieron numerosos objetos microscópicos. El estudio de la célula se reactiva posteriormente en la época comprendida entre 1820 y 1880. Los adelantos en los saberes acerca de la estructura celular estuvo en función de qué tanto se mejoraban los microscopios para una mejor interpretación de lo diminuto: se mejoraron los métodos para preparar tejidos y otros materiales vivos, luego se empezaron a usar todo tipo de colorantes para crear contrastes entre la pared celular, el citoplasma y el núcleo.

El anuncio de parte de **Robert Brown** en 1831 del descubrimiento del núcleo, presente en todas las células, cuya importancia fue reconocida por **Matthias Schleiden** en 1838, dio pauta para la posibilidad de que las células existieran como unidades constitutivas de todo tipo de organismos. Un año después **Theodor Schwann** muestra que las células no sólo existen en plantas sino también en animales. Esto consolida fuertemente la formulación de un concepto científico unificador en el estudio de los seres vivos conocido como la teoría celular.

Las investigaciones de grandes científicos de fines del siglo XIX fueron muy interesantes. Estas están relacionadas con **Weismann** que insistía en que el material genético estaba localizado en los cromosomas, y **Boveri** que fue la persona que más contribuyó al conocimiento de los cromosomas. Estos estudios se consolidaron como las bases de la teoría cromosómica de la herencia propuesta por Sutton y Boveri.

A partir de 1990, los avances en el conocimiento de la célula se dispararon. En un principio, las contribuciones más importantes se hicieron en los campos de la genética y la fisiología celular, seguidas a continuación por la exploración de la estructura íntima de la célula con la ayuda de microscopios electrónicos y, por último, el estudio de todos los componentes del citoplasma por la biología molecular.

La historia de la biología celular es un indicador que ilustra de manera muy clara el progreso gradual de las ciencias biológicas.

Teoría celular

La **teoría celular** es la más amplia y fundamental de todas las generalizaciones biológicas. Esta teoría nos dice, que todos los seres vivos desde los más grandes, como las ballenas, hasta los más pequeños, como los microbios, están constituidos por células. La célula es la unidad básica de todos los seres vivos. Existen seres vivos muy pequeños como las bacterias y los protozoarios que están constituidos por una sola célula, por lo que se les llama **organismos unicelulares**. En cambio, los seres vivos u organismos más grandes como los hongos, algunas algas, las plantas y los animales, están constituidos por muchas células, por lo que se les llama **organismos multicelulares**.

Todo este conocimiento, que parece sencillo, fue el resultado del estudio y la investigación de un gran número de hombres de diversas nacionalidades a través de varios siglos. El conocimiento sobre la célula se inicia en el siglo XVII y su desarrollo está estrechamente relacionado con la invención y perfeccionamiento del microscopio. Un instrumento que permitió a los primeros investigadores aumentar el tamaño de la materia viva, permitiéndoles así poder observar lo que hasta ese momento era invisible para el ojo humano.

Enseguida mencionaremos las aportaciones hechas por algunos investigadores para el establecimiento de la teoría celular.

Robert Hooke un físico, matemático y arquitecto inglés dedicó cierto tiempo al mejoramiento y empleo del microscopio compuesto. En 1665 publicó su libro titulado *Micrographia*, en el que incluyó una descripción e ilustración de la estructura del corcho. Hooke introdujo el término **célula** para referirse a las pequeñas cavidades que observó con su microscopio en un pedazo de corcho muy delgado. Estas diminutas cavidades le recordaban a Hooke los pequeños cuartos o celdas de los monasterios, llamadas *cellulae* en latín, de ahí el nombre.

El corcho es la corteza seca del árbol llamado alcornoque, por lo tanto, lo que Hooke realmente vio fueron las paredes celulares de las células vegetales que constituyeron la corteza antes que se secara. En las plantas vivas encontró que las células estaban llenas de "jugos", pero a pesar de esta observación, le dio una mayor importancia a lo que en ese momento era más visible, la gruesa pared celular, más que al contenido de la célula. Su microscopio compuesto (de dos lentes) no le permitió observar ninguna estructura intracelular ya que sólo aumentaba treinta veces los objetos.

A Hooke se le reconoce haber sido el primero que observó e identificó las células, además de legarnos el término **célula**.



Figura 3.1 Dibujos hechos por Robert Hooke sobre las células del corcho, las cuales observó con un microscopio similar al de esta fotografía.

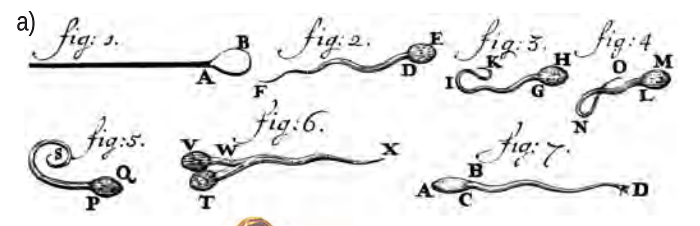


Figura 3.2 a) Dibujos hechos por Leeuwenhoek de los espermatozoides humanos, b) observados con su pequeño microscopio simple.

Mientras Hooke realizaba sus investigaciones en Inglaterra, en un pequeño pueblo holandés, un hombre de oficio comerciante llamado **Anton van Leeuwenhoek** perfeccionó el método de pulido de vidrio, mejorando las lentes. Con ellas fabricó un pequeño microscopio simple (una lente), que aumentaba los objetos cerca de trescientas veces. Leeuwenhoek era un gran observador y con los más de cien microscopios que construyó descubrió un mundo desconocido para el ser humano (el mundo de los microorganismos) que sólo con sus microscopios pudieron ser vistos.

A partir de 1673, Leeuwenhoek da a conocer sus observaciones a una organización científica, la Real Sociedad de Londres, de la que Hooke formaba parte. Durante 40 años, Leeuwenhoek escribió 125 cartas a la Real Sociedad de Londres, donde les narraba sus descubrimientos hechos en diversos materiales como el agua de lluvia y de charcos, donde descubrió unos seres que el llamó “animalículos”, conocidos hoy como protozoarios y bacterias. En sus cartas llegó a describir las tres formas que presentan las bacterias: esferas, bastones y espirales. Además de estos organismos unicelulares, también observó los espermatozoides en el semen y los glóbulos rojos en la sangre. Su curiosidad era tal, que llegó a observar su propio excremento, donde vio la *Giardia lamblia*, un protozoario flagelado que habita el intestino humano.

A Leeuwenhoek se le reconoce el haber realizado las primeras observaciones de bacterias y protozoarios; con él se inicia la ciencia de la microbiología.

Con los descubrimientos de Hooke y Leeuwenhoek se sientan las bases de la biología celular. Lamentablemente, este conocimiento permanece estacionario por más de un siglo. Es hasta principios del siglo XIX cuando se reconoce la importancia de las células para los seres vivos. Para estas fechas, las técnicas de preparación de tejidos y los microscopios habían mejorado notablemente.

En 1824, el biólogo francés **Henri Dutrochet** llegó a la conclusión de que todos los tejidos animales y vegetales están constituidos por diminutas células, y que el crecimiento de un organismo era el resultado de un aumento en el número o en el tamaño de las células, o en ambos.

En 1831, **Robert Brown**, botánico escocés, reconoce o generaliza la presencia de un corpúsculo central contenido en la sustancia “mucosa” de la mayoría de las células. Este corpúsculo descrito por Brown es el núcleo.

Unos cuantos años después con los trabajos publicados por dos alemanes, el botánico **Matthias Schleiden** y el zoólogo **Theodor Schwann**, se consolida todo el conocimiento que sobre la célula se tenía.

En 1838, como resultado de sus observaciones de tejidos vegetales, Schleiden concluye que todas las plantas están constituidas por células. Al siguiente año, en 1839, después de estudiar por años el tejido animal, Schwann afirma que los animales también están constituidos por células. Asimismo, argumentan que cada célula es capaz de mantener una existencia independiente, ya que los procesos vitales de los seres vivos ocurren dentro de cada una de las células que lo constituyen.

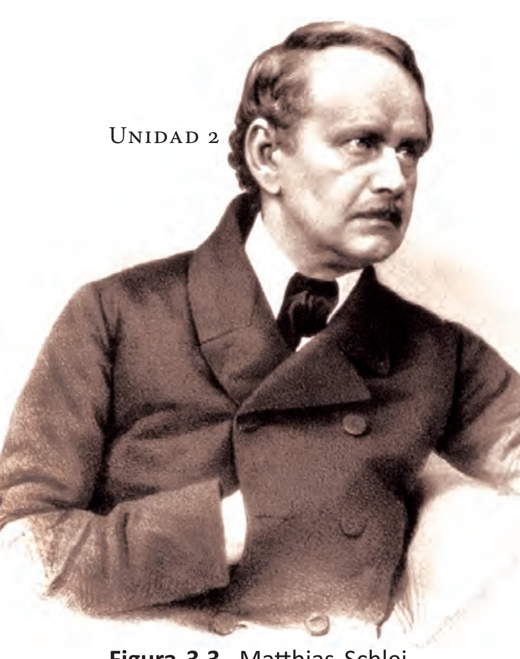


Figura 3.3 Matthias Schleiden (1804-1881), botánico alemán quien junto con Theodor Schwann propuso la teoría celular.

Ambos investigadores presentan pruebas claras y convincentes de sus ideas logrando la aceptación general de los biólogos de la época y el establecimiento de la **teoría celular**, la cual afirma:

- Todos los seres vivos están constituidos por una o más células.
- La célula es la unidad básica de estructura y función de los seres vivos.

Posteriormente, en 1858, el patólogo alemán **Rudolf Virchow**, con los resultados de sus observaciones amplía la teoría celular y agrega una tercera afirmación:

- Las células provienen sólo de otras células.

La teoría celular es muy importante porque enfatiza la similitud de todos los seres vivos. En la actualidad se reconoce como una de las principales teorías de la biología.

Concepto de célula

Como ya se ha mencionado, los seres vivos son unicelulares o multicelulares. Un ser vivo unicelular es todo él una sola célula, mientras que un ser vivo multicelular está constituido por muchas células.

Hagamos la siguiente analogía entre una casa y un organismo multicelular; las unidades de construcción de una casa son los ladrillos, en un organismo multicelular, las células. Por lo tanto, las células son la **unidad de estructura** de todos los seres vivos.

Las células son consideradas también las unidades funcionales de los seres vivos, pues todas las funciones metabólicas del organismo como la respiración, nutrición, excreción, secreción, reproducción, etc., se realizan en la célula. La célula tiene todos los componentes químicos y físicos necesarios para su propio mantenimiento y crecimiento. Debido a esto, las células han logrado cultivarse (mantenerse vivas y reproducirse) *in vitro*, siempre y cuando dispongan de los nutrientes esenciales y un ambiente adecuado. *In vitro* se refiere a un experimento llevado a cabo fuera del organismo, animal o vegetal, en un recipiente de vidrio.

El primer cultivo *in vitro* de células fue realizado en 1907 por el zoólogo norteamericano **Ross Harrison**, quien cultivó células de salamandra.

Por lo tanto, definimos a la célula como **la unidad estructural y funcional de todos los seres vivos**.

El microscopio

El **microscopio** es un instrumento que aumenta la imagen de las cosas observadas, por ello se emplea para ver objetos muy pequeños o diminutos. Este gran invento es indispensable para el conocimiento de la célula, ya que casi todas son microscópicas; lo que no es visible a simple vista es microscópico. Muchos organismos unicelulares como las bacterias, los protozoarios, las levaduras y muchas algas son microscópicos.

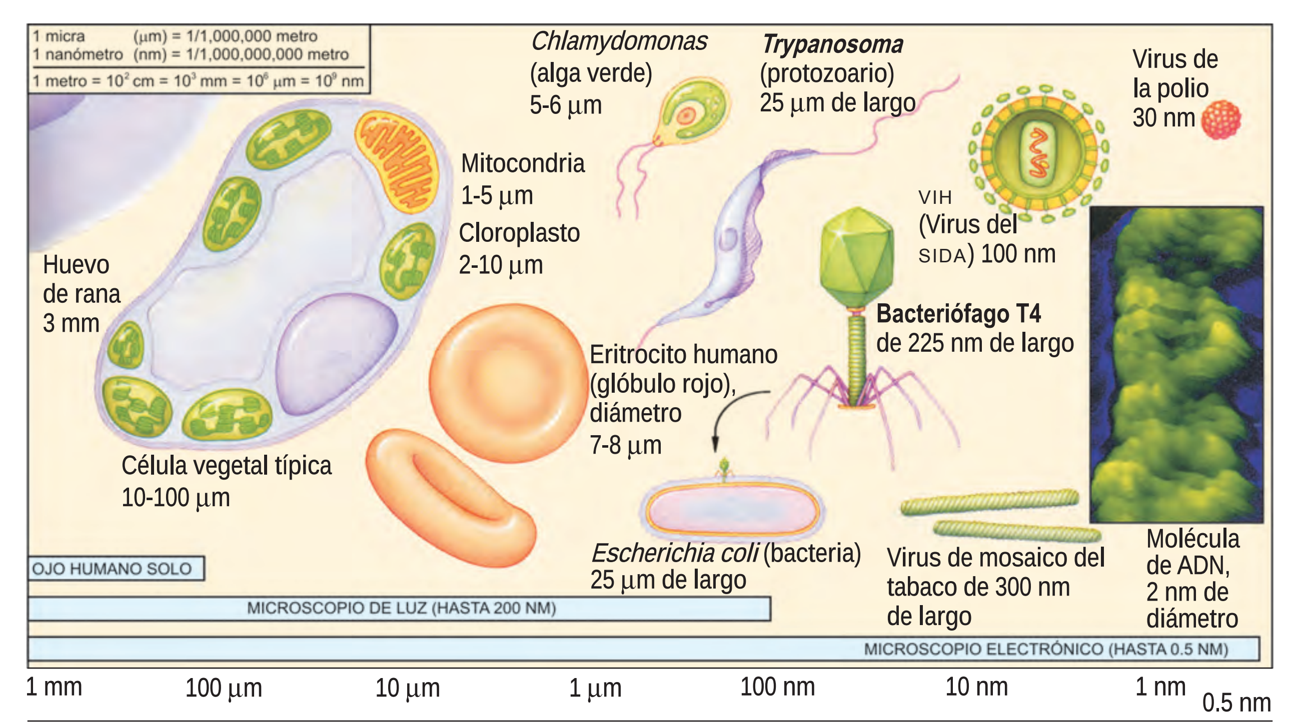


Figura 3.4 Unidades de medición que se emplean en microscopía. La microfotografía del ADN se obtuvo con un microscopio de barrido de efecto túnel que da amplificaciones hasta de 100 millones de veces.

La invención del microscopio se remonta al año de 1590, cuando los holandeses **Zacharías** y **Jans Janssen**, fabricantes de anteojos, hacen el primer microscopio compuesto. La palabra microscopio proviene del griego *micro* (pequeño) y *scope* (ver o mirar).

El microscopio compuesto

El microscopio compuesto, óptico o de luz, es el más utilizado en los laboratorios escolares. Este microscopio utiliza lentes, generalmente elaboradas a partir de cristales, para enfocar y amplificar los rayos luminosos que pasan a través o rebotan en el espécimen (muestra) que se va observar.

El microscopio compuesto está formado por un **tubo óptico**, que en su extremo superior tiene una lente llamada **ocular**, y en el extremo inferior, cuatro lentes denominadas **objetivos**, cada una con diferente grado de aumento. Los objetivos están dispuestos en el **revólver**, un disco giratorio que permite ubicar en la posición correcta el objetivo que se quiere utilizar. Al llegar el objetivo a la posición correcta de trabajo, suena un leve “clic”.

La preparación a observar se coloca sobre la **platina**, una plataforma metálica que tiene un orificio central por donde pasa la luz y un par de **pinzas** que sujetan el portaobjetos de la preparación. Por debajo de la platina se encuentra el **condensador**, un juego de lentes que va a concentrar la luz sobre la preparación. El condensador tiene un **diafragma** que regula la cantidad de luz.

Otras partes del microscopio son: los tornillos **macrométrico** y **micrométrico**, con los cuales se enfoca la muestra; la **columna**, pieza donde se localizan estos tornillos; el **brazo**, por donde se toma el microscopio, y la **base**, el soporte del mismo. Localiza todas las partes mencionadas en la fig. 3.5.

Para determinar el poder de aumento del microscopio (amplificación), se multiplica el aumento del ocular por el del objetivo que se esté empleando. El aumento de estas lentes está

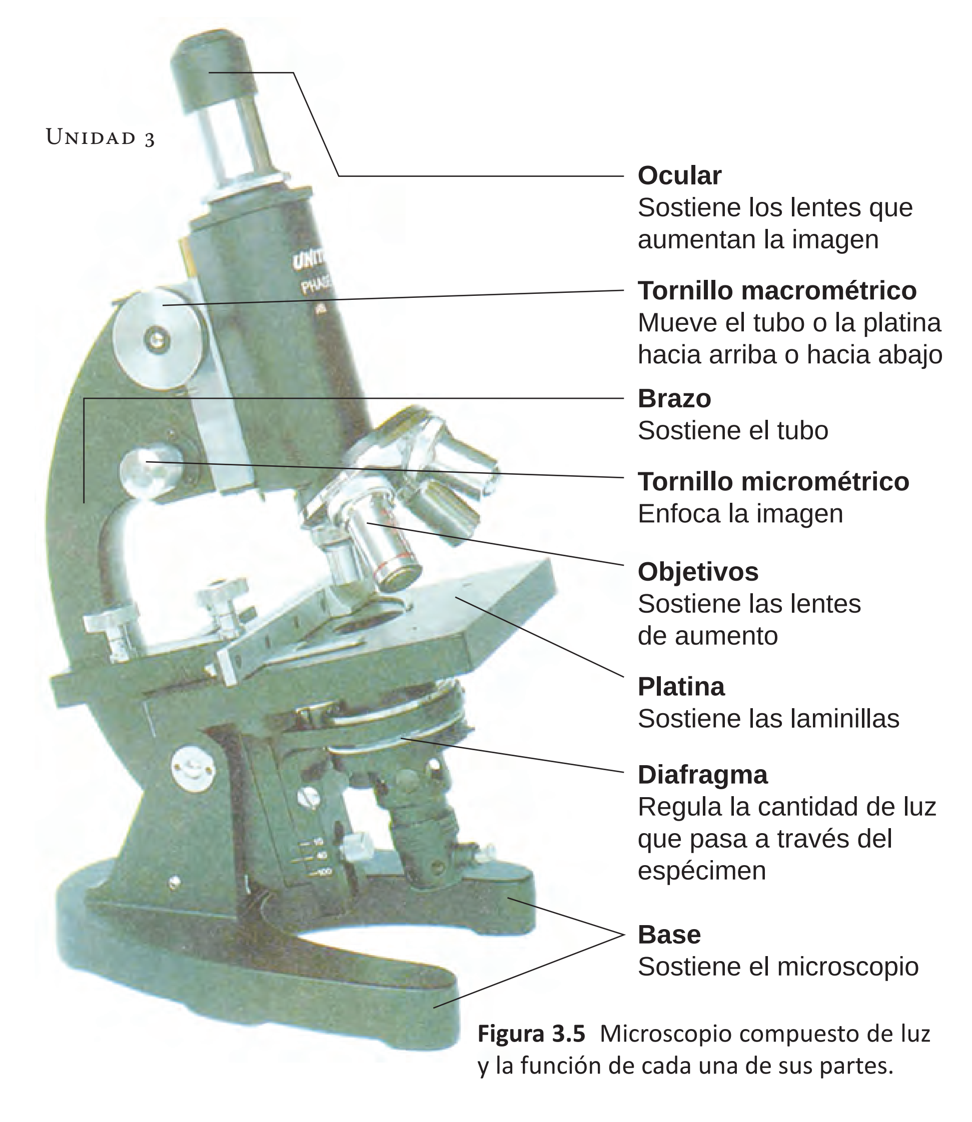


Figura 3.5 Microscopio compuesto de luz y la función de cada una de sus partes.

grabado en ellas, con un número seguido de una X. Por ejemplo, si el aumento del ocular es de 10X y el del objetivo es de 40X, el poder de aumento del microscopio es de 400, es decir, el espécimen observado lo veremos 400 veces mayor.

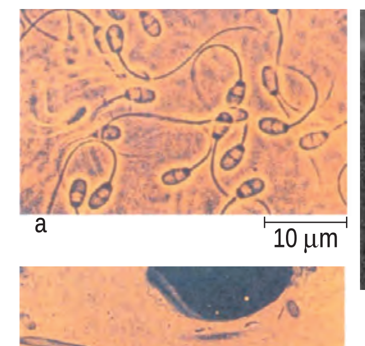
En los estudios con microscopio, las unidades de medida más comunes son el **micrómetro** (µm), que es la milésima parte de un milímetro, y su subdivisión, el **nanómetro** (nm), que es la milésima parte de un micrómetro. El micrómetro se conocía anteriormente como micra o micrón.

Además del poder de aumento del microscopio es muy importante también su **poder de resolución**, que es la capacidad del microscopio para distinguir como separados a dos objetos muy cercanos entre sí. El poder de resolución de los mejores microscopios compuestos es de 0.2 micrómetros. Los objetos que estén más cerca de 0.2 micrómetros se verán como uno solo. La resolución del microscopio nos permite observar con claridad los detalles finos del espécimen.

El microscopio electrónico

El primer microscopio electrónico fue construido por los alemanes Max Knoll y Ernst Ruska en 1937. Este microscopio utiliza un haz o flujo de electrones en lugar de luz para aumentar la imagen. Los electrones se enfocan mediante campos magnéticos en lugar de lentes.

Hay dos clases principales de microscopio electrónico: el de transmisión y el de barrido. El **microscopio electrónico de transmisión** o **MET** se llama así porque el haz de electrones pasa a través de una muestra delgada produciendo la imagen. Esta imagen amplificada por el haz de electrones se ve en una pantalla fluorescente. También se puede tomar una fotografía de la imagen y ampliarla. Un MET puede aumentar el tamaño de un objeto 300 mil veces. Su poder de resolución es de 0.2 nanómetros, es decir, pueden verse claramente dos puntos cuya separación es de 0.2 nanómetros. El uso de electrones permite que la resolución sea mil veces mayor que la del microscopio compuesto.



b
0.5 µm

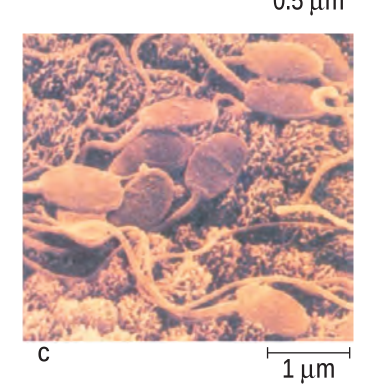






Figura 3.6 (Derecha) Microscopio electrónico de barrido (MEB), **arriba al centro**; imagen tridimensional de una hormiga aumentada 42 veces con el MEB. **(Izquierda)** Espermatozoides de conejo vistos en: **a)** Un microscopio óptico. **b)** Un microscopio electrónico de transmisión. **c)** Un microscopio electrónico de barrido. El MET permite observar detalles de la estructura celular y el MEB nos proporciona una imagen tridimensional de los espermatozoides.

En el MET, el espécimen a observar debe ser delgado, por lo que se corta en capas muy finas. Esto es una desventaja ya que a consecuencia de este proceso sólo observamos células muertas. Con el MET podemos observar detalles de la estructura celular, así como los virus que son partículas más pequeñas que las bacterias.

El **microscopio electrónico de barrido** o **MEB** pertenece a la generación de microscopios electrónicos modernos. El MEB rebota electrones sobre el espécimen a observar, el cual previamente ha sido cubierto con metales, proporcionando así imágenes tridimensionales de éste y dejando ver con detalle su superficie. Con el MEB pueden observarse desde insectos completos hasta organelos celulares. Recientemente se han podido fotografiar especímenes vivos usando el MEB.

Los tipos de células: procariotas y eucariotas

Existen dos tipos de células básicas: **procariotas** y **eucariotas**. Esta clasificación se basa en el hecho de que las primeras no poseen organelos rodeados por membranas y las segundas sí. Debido a esto, la diferencia más notoria entre ellas es que la célula eucariota tiene su material genético dentro de un organelo limitado por una membrana, el **núcleo**, mientras que el material genético de las células procariotas no está englobado por una membrana, sino libre en el citoplasma. En todas las células vivas, el material genético es el ADN (ácido desoxirribonucleico). La tabla 3.1 resume las similitudes y diferencias entre las células procariotas y eucariotas.

Tabla 3.1 Comparación de células procariotas y eucariotas

ESTRUCTURA	CÉLULAS PROCARIOTAS	CÉLULAS EUCARIOTAS	
		CÉLULA ANIMAL	CÉLULA VEGETAL
Membrana plasmática	Sí	Sí	Sí
Pared celular	Sí	No	Sí
Núcleo	No	Sí	Sí
Cromosomas	Hebra circular de ADN	Muchos	Muchos
Ribosomas	Sí (pequeños)	Sí (grandes)	Sí (grandes)
Retículo endoplásmico	No	Sí	Sí
Aparato de Golgi	No	Sí	Sí
Lisosomas	No	Sí	Sí
Vacuolas	No	Pequeñas o nada	Sí
Mitocondrias	No	Sí	Sí
Cloroplastos	No	No	Sí
Citoesqueleto	No	Sí	Sí

La célula procariota

Las **células procariotas** son las formas de vida más antiguas que se conocen; se han encontrado fósiles de ellas en estratos rocosos con una edad de 3 mil 500 millones de años. Estas células sólo las vamos encontrar en los organismos de los reinos Archaebacteria (arqueobacterias) y Eubacteria (eubacterias).

Las células procariotas son usualmente más pequeñas que las eucariotas y además, son más sencillas en su estructura. Su tamaño promedio es de 1 a 10 micrómetros. Todas contienen un citoplasma con una gran cantidad de **ribosomas**, una sola **cadena de ADN** (material genético) y una **membrana plasmática** circundante. El material genético, por lo regular, está enrrollado y adherido en un punto a la membrana plasmática, y concentrado en una región de la célula llamada **nucleoide**. Como se mencionó anteriormente, no está físicamente separado del resto del citoplasma por una membrana.

Además del cromosoma muchas bacterias contienen en su citoplasma pequeños trozos circulares de ADN llamados **plásmidos**, los cuales por lo regular contienen de 2 a 30 genes.

También todas las células procariotas presentan, con excepción de los micoplasmas (las bacterias mas pequeñas) una **pared celular**. Las sustancias que forman la pared son secretadas por la misma célula. Hay otras estructuras como la **cápsula**, **esporas**, **flagelos** y **pili** (singular, pilus) o fimbrias, que se presentan sólo en algunas de estas células.

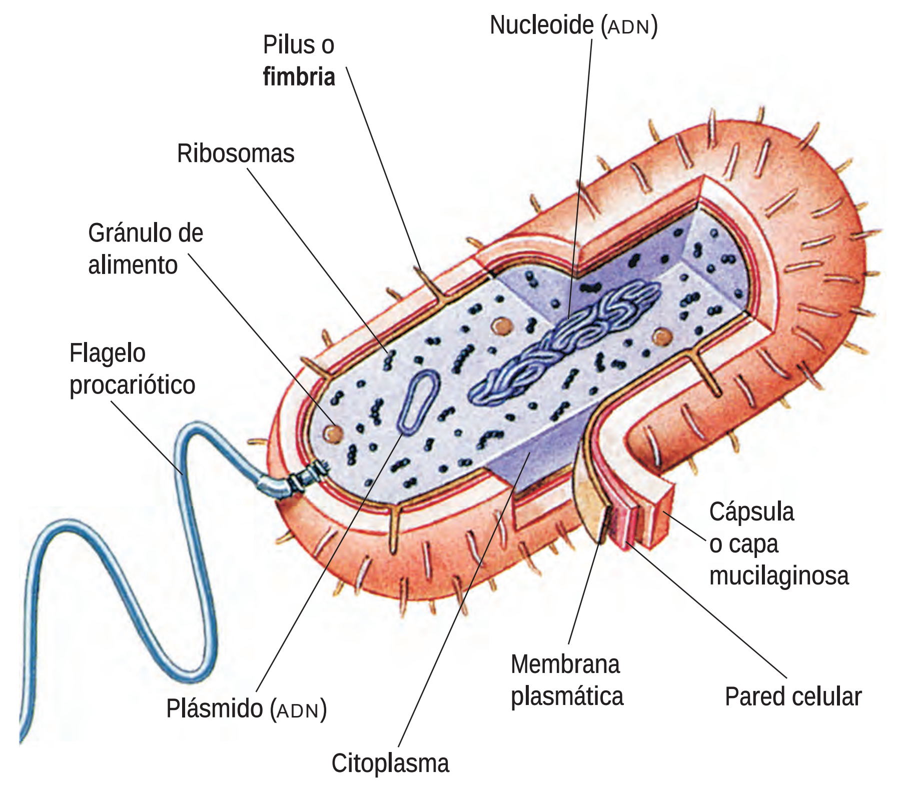
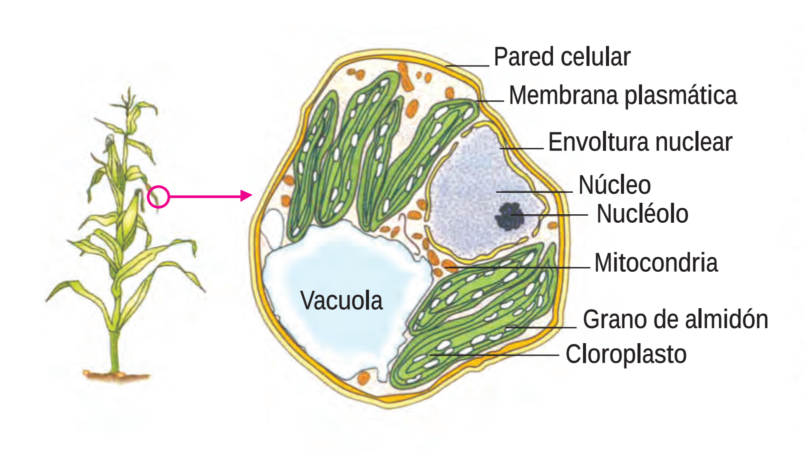


Figura 3.7 Una célula procariota típica tiene pared y membrana plasmática, pero no tiene núcleo. *¿Dónde está localizado el material genético?*

La célula eucariota

En una **célula eucariota**, el material dentro de la membrana plasmática se divide en el **núcleo**, organelo que contiene el material genético, y el **citoplasma**. El citoplasma, a su vez, está constituido por el **citosol** y el resto de los **organelos**. El citosol es una solución acuosa de sales, azúcares, aminoácidos, proteínas, ácidos grasos, nucleótidos y otros materiales. Muchas reacciones biológicas ocurren en él gracias a las enzimas (proteínas) que catalizan dichas reacciones. Suspendidos en el citosol se encuentran los organelos, estructuras que trabajan como órganos en miniatura, llevando a cabo funciones específicas en la célula. En el citoplasma también existe una red de fibras o filamentos proteicos que forman un sistema de sostén intracelular llamado **citoesqueleto**. Con algunas excepciones, todas las células eucariotas contienen los siguientes organelos: **núcleo**, **retículo endoplásmico**, **ribosomas**, **aparato de Golgi**, **mitocondrias y vesículas**. Las células eucariotas son más grandes que las procariotas. La mayoría de las células eucariotas varian entre 5 y 100 µm de diámetro. Las células de los **protistas**, **hongos**, **plantas** y **animales** son células eucariotas.



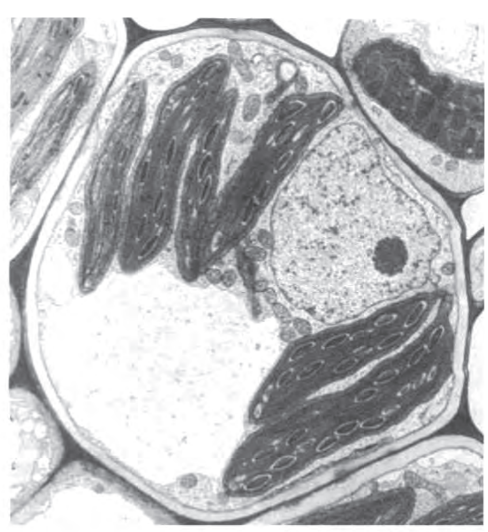


Figura 3.8 A la derecha micrografía electrónica de las células de una hoja de maíz y a la izquierda dibujo elaborado en base a esta.

Además de todos los organelos mencionados, debemos señalar que las células de las plantas poseen dos estructuras especiales que las diferencian de las células animales. La primera es una **pared celular** de celulosa que rodea la membrana plasmática y cuya función es proteger y sostener a la célula. La segunda, son los **plastos**, como el **cloroplasto**, organelo membranoso que contiene el pigmento verde llamado clorofila y cuya función es atrapar la energía solar y utilizarla para sintetizar carbohidratos u otras moléculas orgánicas. Otras diferencias entre las células animales y vegetales son la presencia de **grandes vacuolas** en las células vegetales, mientras que en las células animales son pequeñas o no existen. Las células animales poseen un par de **centríolos** situados muy cerca del núcleo, mientras que las células vegetales carecen de ellos.

Las figuras 3.9 y 3.10 son un modelo de célula animal y vegetal respectivamente, que muestran todas las estructuras características de estas células.

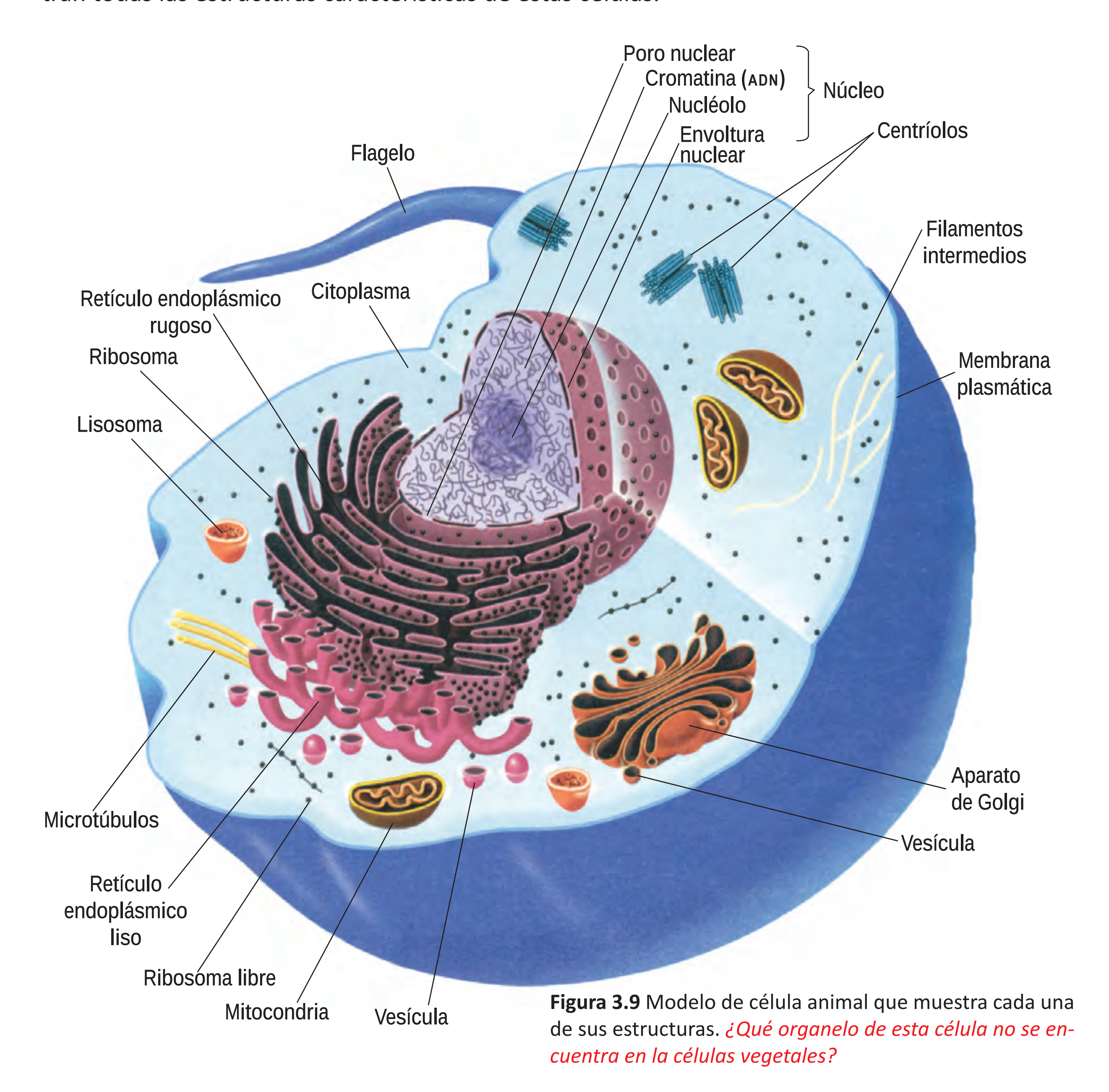


Figura 3.9 Modelo de célula animal que muestra cada una de sus estructuras. *¿Qué organelo de esta célula no se encuentra en la células vegetales?*

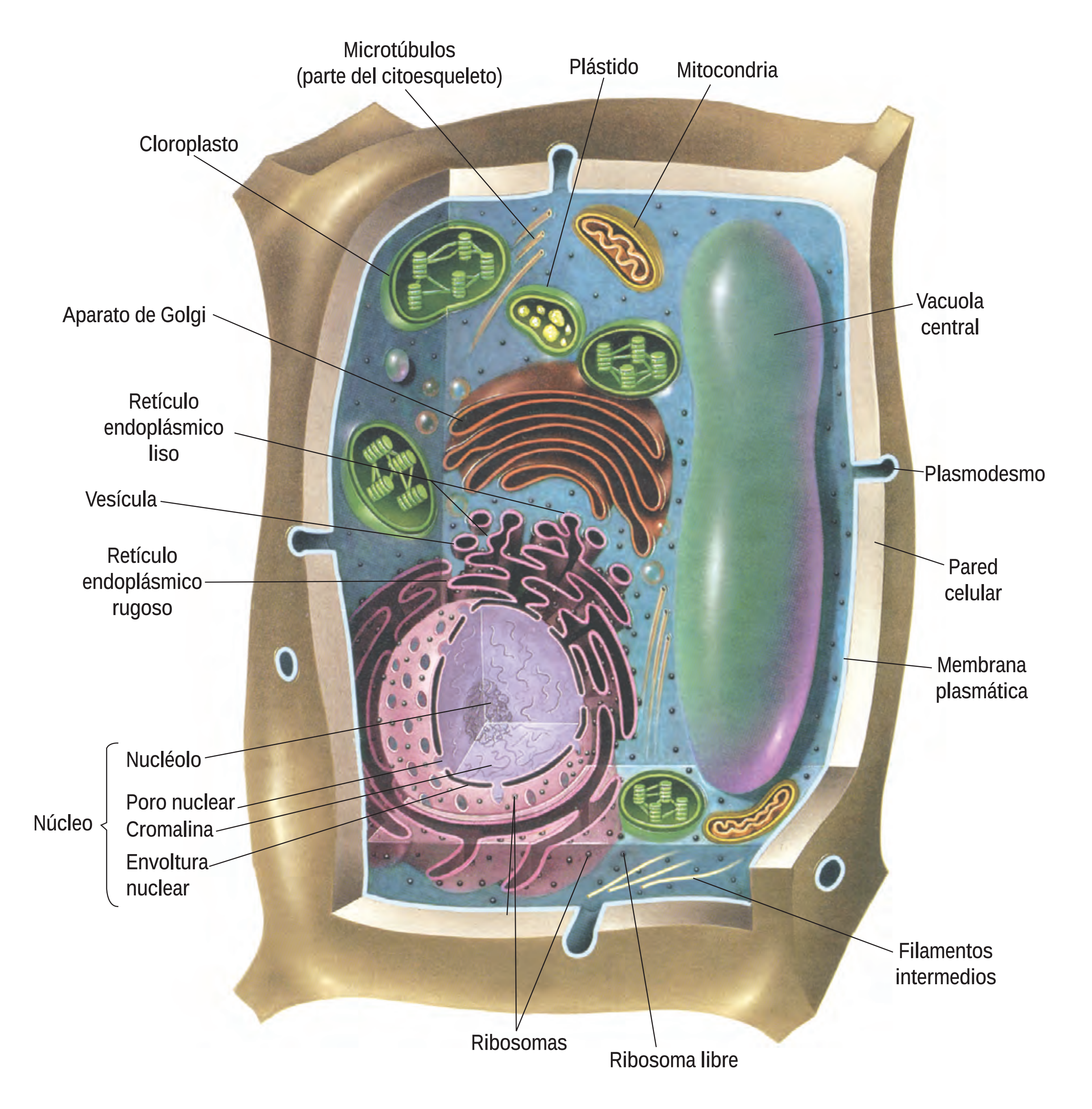


Figura 3.10 Modelo de célula vegetal que muestra cada una de sus estructuras. *¿Qué organelos característicos de estas células, no estan presentes en las células animales?*

Forma y tamaño de las células

Tanto las células procariotas como eucariotas presentan una gran diversidad o variedad en sus formas y tamaños, que representan su adaptación evolutiva a distintos ambientes o a diferentes funciones especializadas dentro de un organismo multicelular.

Forma de la célula

Aunque tienden a ser esféricas o globulares cuando se encuentran aisladas, las células presentan numerosas formas características; estas se deben a algunos factores como:

- La existencia de las paredes celulares, que presentan las células de las plantas, hongos y muchos organismos unicelulares.
- La presión que ejercen unas células sobre otras.
- La disposición del citoesqueleto, especie de armazón que presentan en el citoplasma las células eucariotas.
- Las funciones que cumplen las células y para las cuales están adaptadas.

En los tejidos y órganos que constituyen el cuerpo humano se han identificado por lo menos 200 tipos diferentes de células. Algunas de ellas son: los eritrocitos o glóbulos rojos de la sangre que tienen la forma de un pequeño disco bicóncavo debido a que han perdido el núcleo, lo que les permite disponer de una mayor superficie para el transporte del oxígeno. Las células sexuales masculinas o espermatozoides tienen la forma de un renacuajo con una larga cola, que es un flagelo que utilizan para desplazarse y así poder llegar al óvulo. Las neuronas de forma estrellada poseen largas extensiones que les permiten la transmisión de impulsos nerviosos. Las células epiteliales, que cubren y protegen al cuerpo, tienen la forma de pequeños tabiques o ladrillos. Las células musculares lisas que constituyen órganos como el estómago, tienen la forma

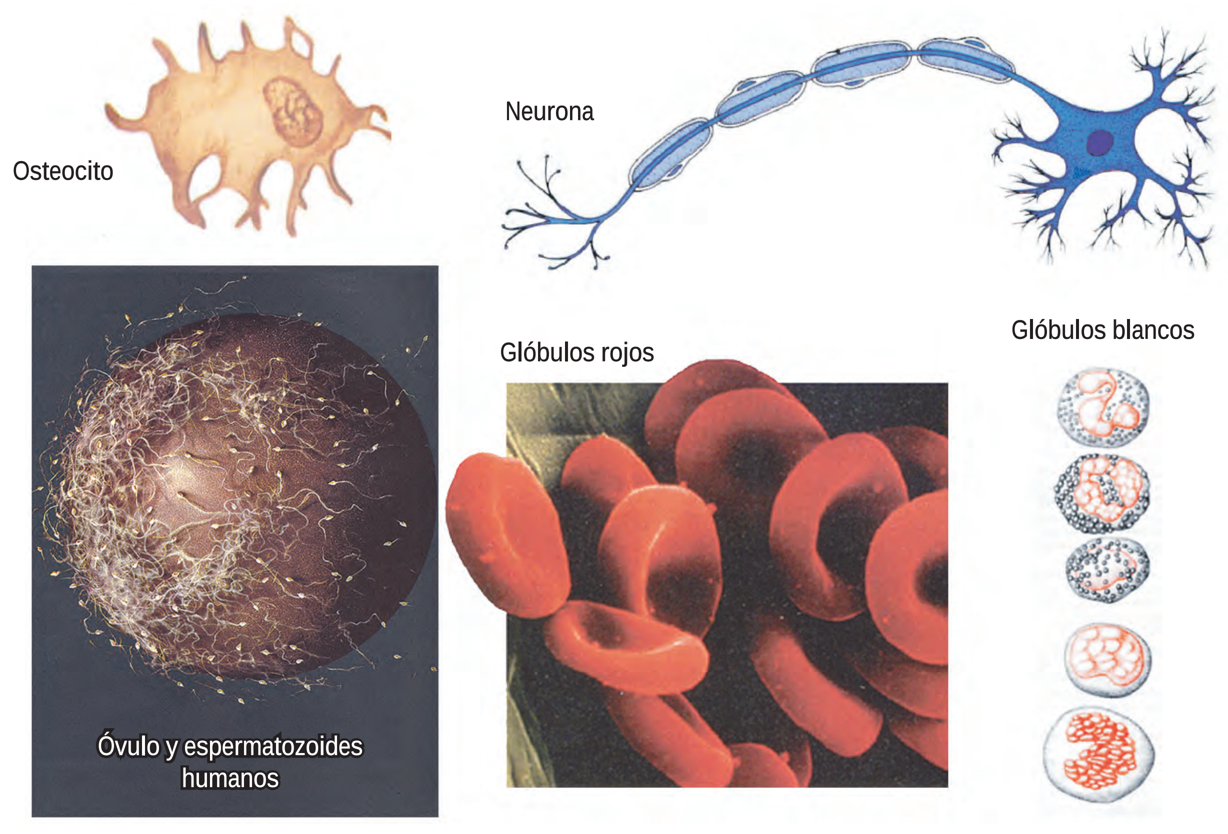


Figura 3.11 Observa las variadas formas de algunas células humanas.

de huso. Los leucocitos o glóbulos blancos son esféricos dentro de la sangre, pero, para salir de los vasos sanguíneos y cumplir con su función defensiva, emiten pseudópodos (prolongaciones citoplásmicas), variando su forma a medida que se desplazan.

Las células vegetales son esféricas, ovoides, poliédricas, cilíndricas, reniformes, etc. También los organismos unicelulares procariotas (eubacterias y arqueobacterias) y los eucariotas (protozoarios, levaduras y muchas algas) presentan un sinfin de formas.

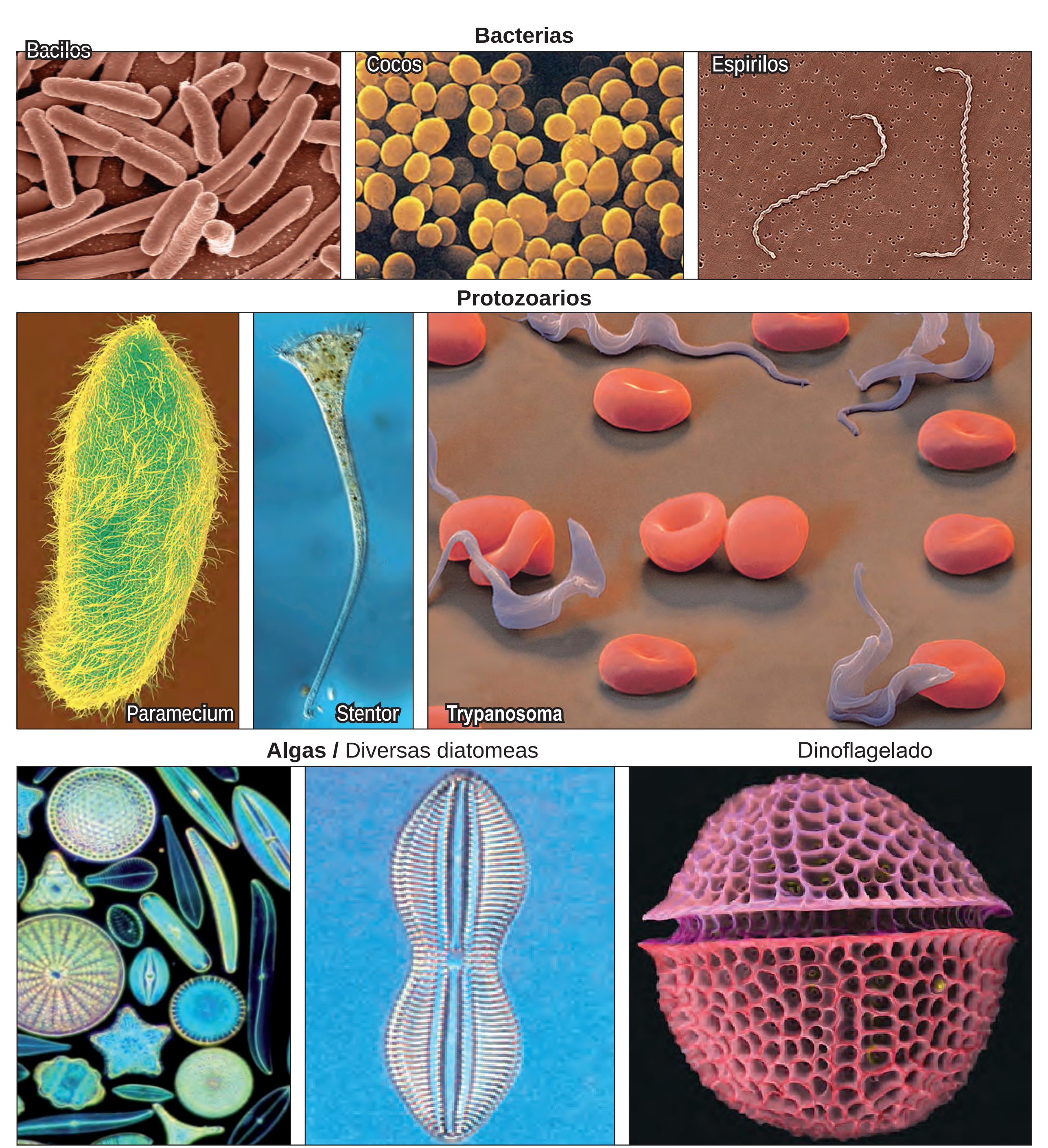


Figura 3.12 Algunas formas de células entre los organismos unicelulares.

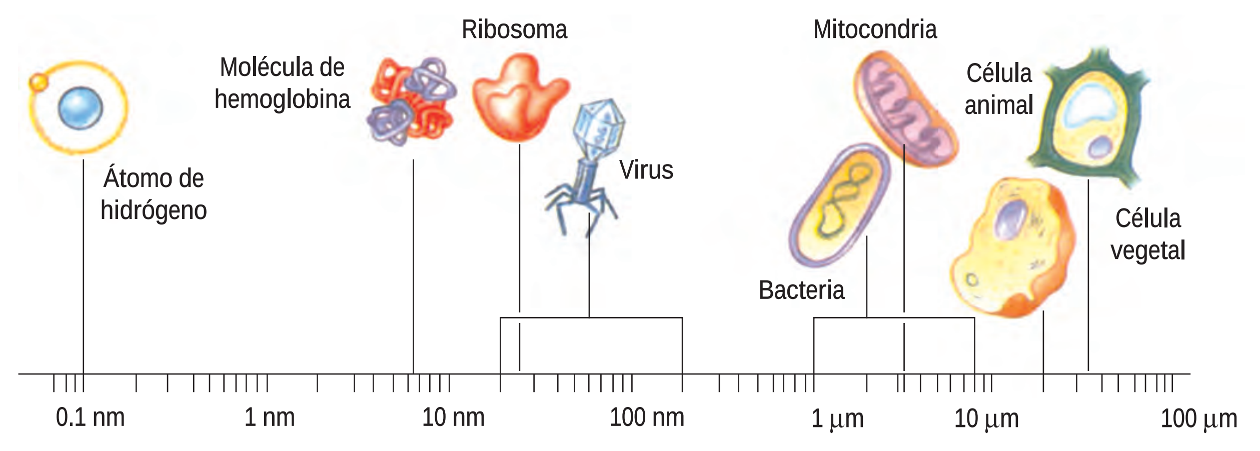


Figura 3.13 Las células varían mucho en tamaño. 1 micrómetro (µm) es la milésima parte de 1 milímetro y 1 nanómetro (nm) es la milésima parte de 1 micrómetro.

Tamaño de las células

Las células son generalmente microscópicas; su tamaño se mide por medio de micrómetros. La mayoría de las células tienen dimensiones comprendidas entre 1 y 20 micrómetros de diámetro. Sin embargo, las hay mucho más pequeñas que 1 micrómetro y algunas son tan grandes que pueden ser observadas a simple vista. Entre las más pequeñas, tenemos a las bacterias de los grupos micoplasma y ricketsia, que miden 0.2 – 0.3 micrómetros de diámetro y entre las más grandes, destacan las algas marinas del género *Acetabularia*, las yemas de los huevos de las aves y los huevos de los peces (como el caviar que son los huevos de un pez llamado esturión). Todas estas células tienen dimensiones de centímetros y pueden ser observadas a simple vista. Por lo general, las

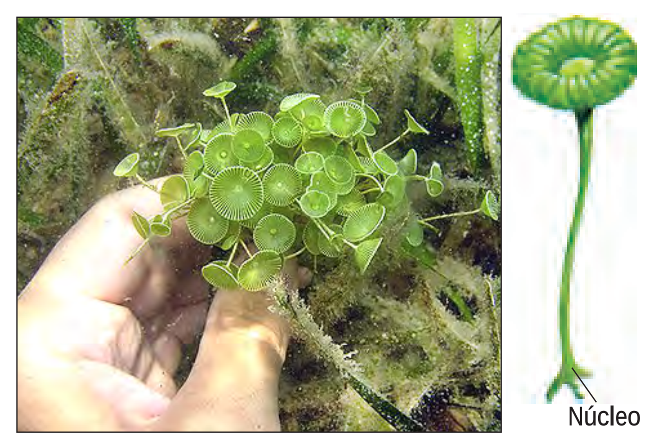


Figura 3.14 La alga marina *Acetabularia* es una célula eucariota gigante de 5 cm de altura.

El número de células

Como ya se ha comentado, el tamaño de un individuo es independiente de las dimensiones de los elementos celulares que lo forman, pero no de su número. En los animales y en las plantas verdes, los de mayor tamaño tienen también un número superior de células. El ser humano proviene de una sola célula fecundada, el cigoto. A lo largo del proceso de gestación y debido a los continuos procesos de división celular (mitosis), el infante suele pesar al nacer aproximadamente 3 kg y está formado por unos 2 billones de células, mientras que el cuerpo de un adulto está formado de 70 a 100 billones de células.

células de los organismos multicelulares son casi del mismo tamaño; así, el tamaño de las células de una lombriz de tierra, un ratón, un ser humano o una ballena azul, es aproximadamente igual. La ballena azul es el organismo de mayor tamaño simplemente porque sus genes están programados para la formación de un mayor número de células.

La mayoría de las células son pequeñas por dos razones: en primer lugar, casi todos los nutrimentos y desechos se mueven dentro, y salen de las células por difusión, la cual funciona para mover moléculas a distancias muy cortas, de algunos micrómetros, pero es muy lenta para llevar a cabo el transporte en distancias más largas. Por ejemplo, se ha calculado que si existiera una célula de 20 centímetros de diámetro las moléculas de oxígeno tardarían más de 200 días en llegar al centro de ella. Esto obviamente no permitiría la vida en la célula. En segundo lugar, a medida que una célula crece, su volumen aumenta más rápidamente que su superficie, de tal manera que en una célula muy grande, la superficie de la membrana sería demasiado pequeña para permitir que entraran los suficientes nutrimentos y oxígeno o salieran los desechos, lo cual causaría la muerte de la célula.

La estructura y función celular

Como las células son las unidades o bloques de construcción de todos los seres vivos, es muy importante saber más de ellas. El saber cómo está constituida y cómo funciona cada una de sus estructuras, ha permitido a la humanidad comprender y poder resolver algunos problemas muy importantes para ella, por ejemplo, los relacionados con la alimentación, la salud, la enfermedad, el envejecimiento y la herencia biológica. A continuación describiremos cada una de las estructuras de una célula eucariota, en el siguiente orden:

- Membrana plasmática
- Núcleo
- Citoplasma (organelos citoplásmicos)

La membrana plasmática

La **membrana plasmática** conocida anteriormente como **membrana celular** es una cubierta que envuelve y delimita a la célula separándola del medio externo. Funciona como una barrera entre el interior de la célula y su entorno ya que permite la entrada y salida de moléculas a través de ella. Este paso de moléculas es un fenómeno llamado permeabilidad. Pero la membrana no deja pasar facilmente a todas las moléculas, por lo que es **selectivamente permeable**.

La membrana plasmática es muy delgada, mide de 7 a 10 nanómetros (nm) de grosor, por lo que el microscopio óptico no la detecta, sólo puede ser observada con el microscopio electrónico.

A medida que se ha ido obteniendo información sobre la membrana plasmática, se han propuesto varios modelos que explican como está estructurada y como funciona. El que se acepta actualmente es el **modelo del mosaico fluido**, propuesto por los biólogos celulares S. J. Singer y G. L. Nicolson en 1972.

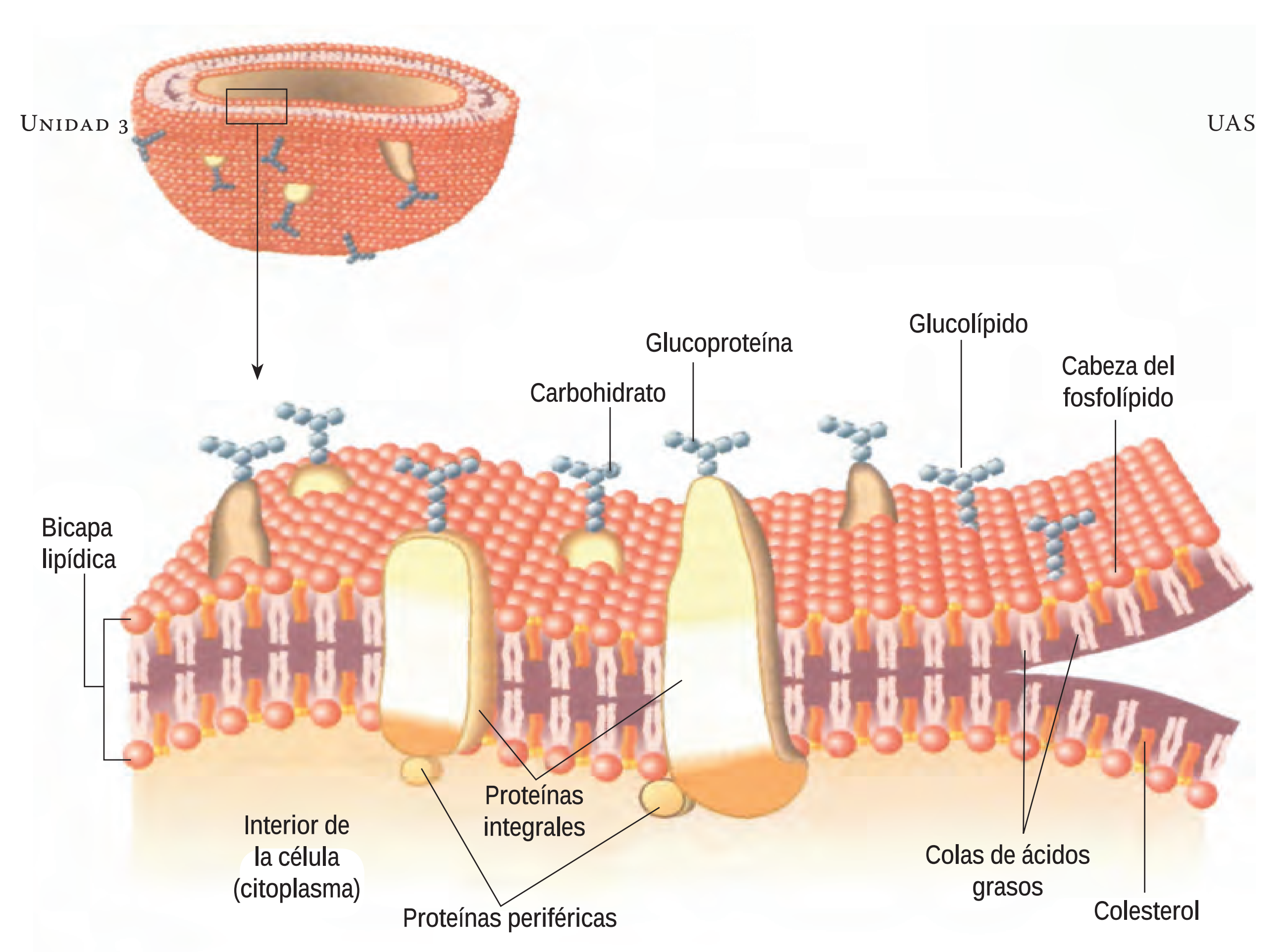


Figura 3.15 Modelo de la membrana plasmática, determinado a partir de micrografías electrónicas y datos bioquímicos. *¿Qué nombre recibe este modelo de membrana?*

Este modelo propone que la membrana está formada por dos capas (bicapa) de fosfolípidos en la que están incluidas numerosas proteínas; las que se localizan en la superficie exterior o en la interior de la bicapa lipídica se llaman **proteínas periféricas**, y las que penetran la bicapa son **proteínas integrales**. A veces las proteínas y los lípidos tienen carbohidratos unidos a ellas, formando **glucoproteínas** y **glucolípidos**, respectivamente.

La bicapa de fosfolípidos también contienen colesterol. Algunas membranas como las de las mitocondrias tienen unas cuantas moléculas, pero algunas otras membranas tienen la misma cantidad de colesterol y fosfolípidos. El colesterol hace que la bicapa sea más fuerte y flexible, pero menos fluida y permeable a sustancias solubles en agua.

Debido a que las moléculas de fosfolípidos no están unidas entre sí, esta doble capa es bastante fluida, permitiendo un movimiento lateral tanto de los fosfolípidos como de las proteínas.

Se dice que la gran variedad de proteínas que constituyen la membrana forman un mosaico proteico. Por ejemplo, la membrana celular del glóbulo rojo contiene más de 50 proteínas diferentes. A algunas de estas proteínas se les llama **proteínas de transporte** ya que participan en el movimiento de sustancias a través de la membrana. Hay dos tipos de proteínas de transporte, las llamadas **canales proteicos**, que forman poros o canales, y las **proteínas portadoras**, que como su nombre lo indica, transportan sustancias a través de la membrana.

Todas las membranas de la célula, incluso la de los organelos como el núcleo, retículo endoplásmico, aparato de Golgi, mitocondrias, lisosomas y cloroplastos, poseen esta misma estructura básica, aunque los tipos y cantidades de lípidos, proteínas y carbohidratos varían dependiendo del organelo.

Movimiento de las sustancias a través de la membrana plasmática

Para poder vivir y crecer las células necesitan recibir constantemente nutrientes y eliminar las sustancias de desecho antes de que se acumulen en ella y le causen algún daño. También la células secretan sustancias producidas por ellas mismas. Todos los nutrientes, desechos y secreciones deben pasar a través de la membrana.

Hay tres formas generales por medio de las cuales las sustancias atraviesan la membrana plasmática:

- Transporte pasivo
- Transporte activo
- Transporte mediado por vesículas

Transporte pasivo

Es el movimiento de sustancias a través de la membrana plasmática en el que no se requiere energía para realizar el trabajo de transportar sustancias por parte de la célula. El transporte pasivo depende de la energía cinética de las partículas de la materia (átomos, iones, moléculas) que las mantiene en constante movimiento. En los sólidos, las partículas vibran en un solo sitio; en cambio, en los líquidos y en los gases se mueven de un sitio a otro al azar, es decir, se mueven en línea recta hasta que chocan con otras partículas; rebotan entre ellas y cambian de dirección.

Durante el transporte pasivo, las sustancias se mueven de un medio de mayor concentración a uno de menor concentración, es decir, a favor de un gradiente de concentración. Un gradiente de concentración es una medida de la diferencia en la concentración de una sustancia en dos regiones. Son mecanismos de transporte pasivo la **difusión simple**, la **ósmosis** y la **difusión facilitada**.

La difusión

La **difusión** es el movimiento de las partículas de una región de mayor concentración a otra de menor concentración, producida por el gradiente de concentración. Puede ocurrir dentro de un líquido o de un gas, o a través de una barrera, como una membrana.

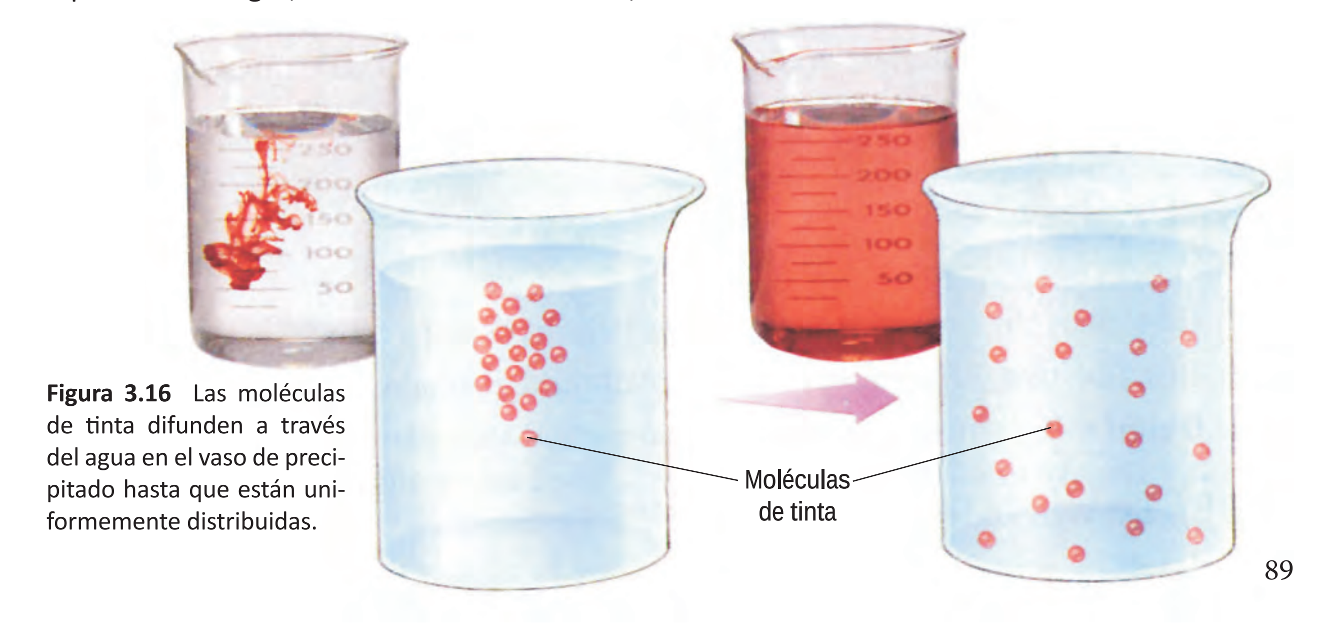


Figura 3.16 Las moléculas de tinta difunden a través del agua en el vaso de precipitado hasta que están uniformemente distribuidas.

La figura 3.16 muestra un ejemplo de difusión en agua. Se agrega una gota de tinta roja en un vaso de agua, lentamente esta se va tornando de color rojo. ¿Qué sucedió?

La gota de tinta está constituida por muchas moléculas individuales de pigmento, las cuales se desplazan por su energía cinética de la región de mayor concentración de la tinta (la gota), hacia la de menor concentración (agua). Lo mismo sucede con las moléculas de agua; estas se mueven hacia la gota de tinta donde está en menor concentración. La difusión de ambas moléculas se detiene cuando están uniformemente dispersas. En este momento no existe un gradiente de concentración ni de la tinta ni del agua.

Difusión simple

Muchas moléculas atraviesan la membrana plasmática por difusión debido a las diferencias de concentraciones entre el citoplasma de la célula y su medio externo. Entre las moléculas que pasan por difusión están las de agua, oxígeno, bióxido de carbono y las solubles en lípidos. Al proceso de difusión de moléculas a través de la membrana plasmática se le llama **difusión simple**.

El agua, el oxígeno y el bióxido de carbono pasan a través de los espacios que hay entre las moléculas que forman la membrana. Las sustancias solubles en lípidos como el alcohol etílico y la vitamina A, pasan a través de la membrana disolviéndose en ella.

Ósmosis

La **ósmosis** es la difusión del agua a través de una membrana selectivamente permeable, desde una región donde está más concentrada a una región donde lo está menos. Como habrás observado, **ósmosis** es el nombre especial que recibe la difusión simple del agua, debido a las consecuencias tan drásticas que puede tener para las células. Las células no tienen control sobre la ósmosis. La dirección en la cual se difunde el agua depende sólo de la concentración de las moléculas de agua fuera y dentro de la célula. En su mayor parte, las membranas celulares son muy permeables al agua.

Todas las células contienen sustancias disueltas en su citoplasma como sales, azúcares, proteínas, etc., por lo que el flujo de agua por la membrana va a depender de la concentración de agua en el líquido que baña o rodea a la células. Veamos cómo afecta este proceso a la célula de una planta. Si la solución que rodea a la célula tiene una concentración más alta de moléculas de agua que el contenido de la célula, las moléculas de agua entrarán a la célula y causarán una presión dentro de ella llamada **turgencia**. Esto provoca que la célula se ponga rígida, permitiendo que tejidos suaves de la planta como los pétalos, hojas y tallos tiernos se mantengan firmes. Pero en cambio, si la solución que rodea a la célula tiene una concentración de agua menor que dentro de la célula, el agua difundirá hacia fuera de la célula, perdiéndose la turgencia. Esto causa que el contenido celular se encoga y los tejidos suaves de la planta se marchiten. Observa la figura 3.17 donde se muestra lo que sucede en una célula vegetal y en una animal, dependiendo de las concentraciones de agua fuera las células.

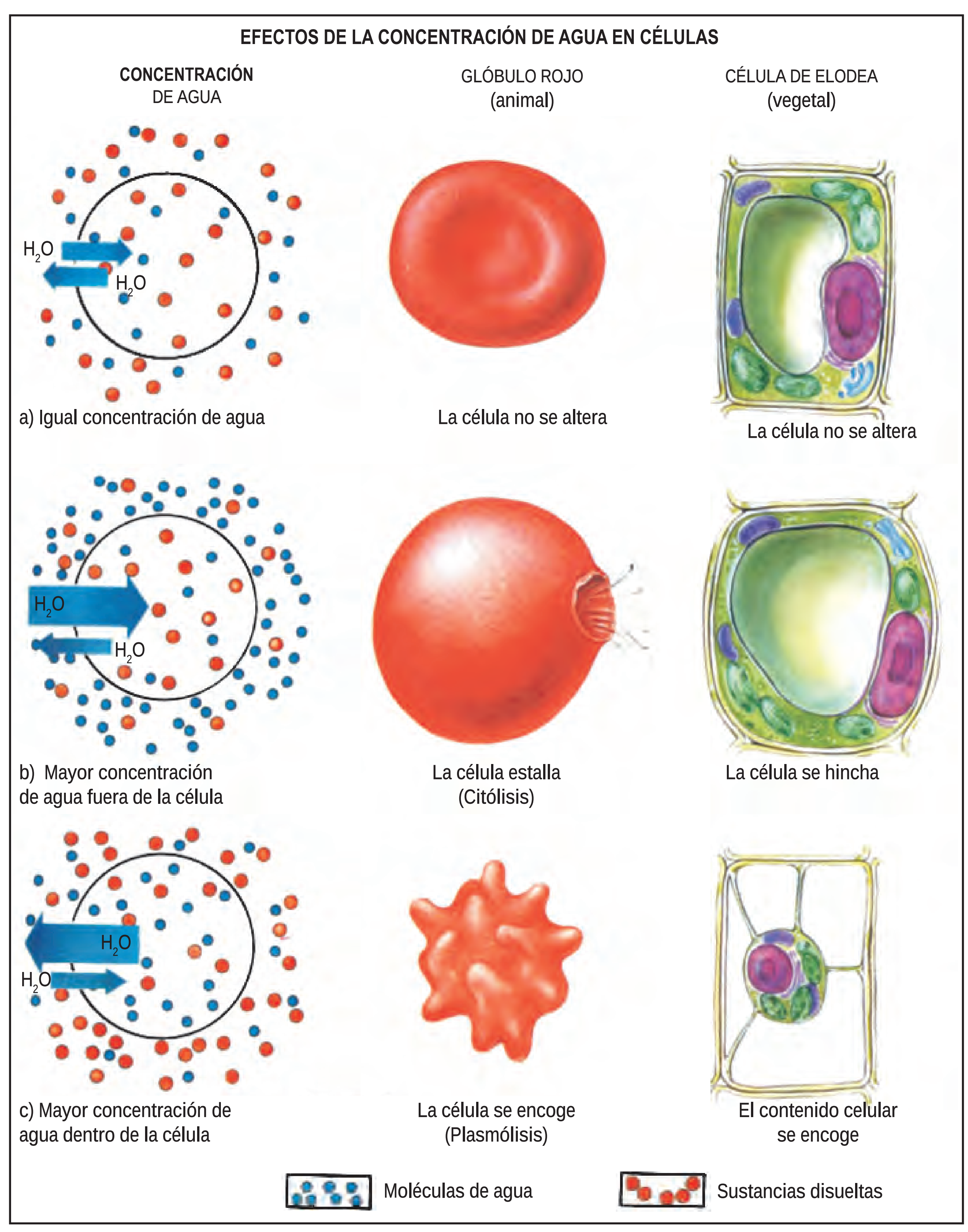


Figura 3.17 Como un resultado de la ósmosis, las células responden de diferente manera cuando la concentración de agua dentro de la célula es igual a, mayor que, o menor que la concentración de agua a su alrededor.

Difusión facilitada

Muchas sustancias necesarias para la célula como los iones (K^+, Na^+, Ca^{2+}), los monosacáridos y los aminoácidos, a pesar de estar en mayor concentración fuera de la membrana plasmática, no pueden atravesarla ya que son sustancias insolubles en lípidos o demasiado grandes para abrirse paso a través de ella. Entonces, ¿cómo pasan a través de la membrana plasmática? Estas moléculas pueden atravesar y difundirse sólo con la ayuda de las proteínas de transporte: las **proteínas de canal** y las **proteínas portadoras**. La difusión de moléculas a través de la membrana plasmática con moléculas de transporte se conoce como **difusión facilitada**.

Las proteínas de canal forman poros permanentes o canales, en la bicapa lipídica, por medio de los cuales ciertos iones pueden cruzar la membrana (figura 3.18). Las proteínas portadoras tienen sitios de unión para moléculas específicas. Como resultado de la unión, las proteínas portadoras cambian su forma, haciendo que la molécula pase a través de la parte central de la proteína hacia el otro lado de la membrana (figura 3.19). Las proteínas portadoras son muy específicas, cada una de ellas tiene un punto de unión característico por el que se une a una clase particular de molécula, pero no a otra que podría ser casi idéntica. La unión entre la proteína portadora y la molécula transportada es transitoria. Después de

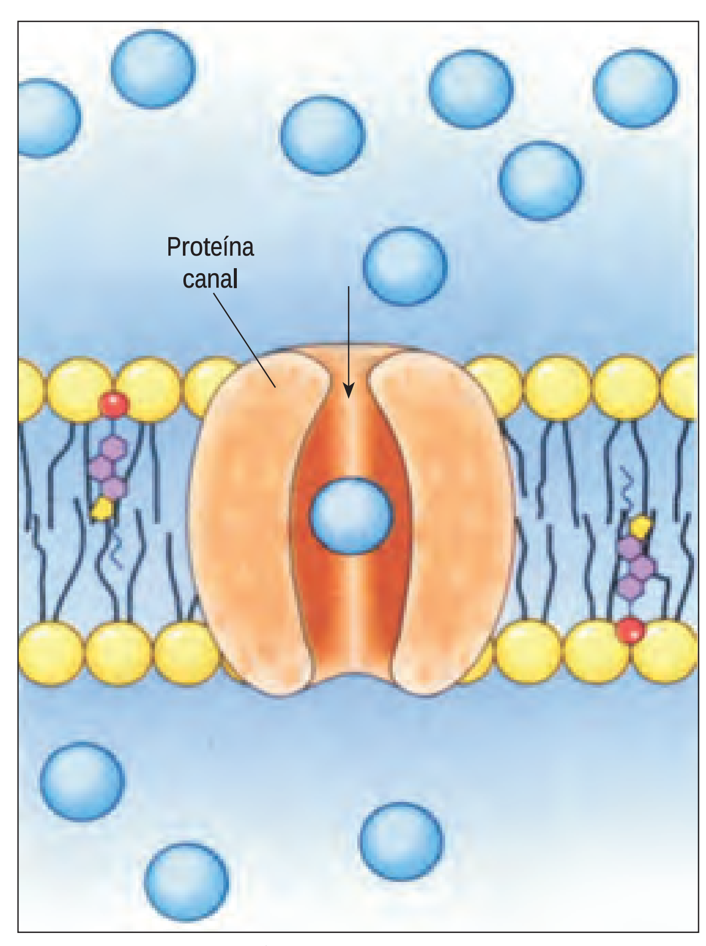


Figura 3.18 Las proteínas de canal proporcionan un pasaje a través de los cuales partículas como los iones pueden atravesar la membrana.

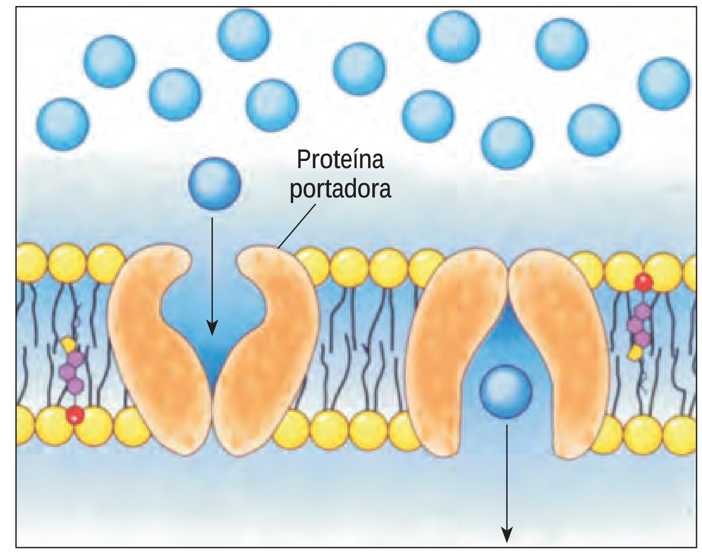


Figura 3.19 Las proteínas portadoras cambian su forma para permitir que ciertas moléculas pasen la membrana. *¿Qué moléculas utilizan este mecanismo de transporte?*

que la molécula ha pasado al otro lado de la membrana, la proteína portadora queda libre y puede empezar un nuevo ciclo para ayudar a otras moléculas de esta sustancia a cruzar la membrana. Las moléculas que utilizan este mecanismo de transporte son los aminoácidos, los monosacáridos como la glucosa y algunas proteínas pequeñas. Recuerda que en la difusión facilitada las moléculas se mueven a favor de un gradiente de concentración, es decir, de una región de mayor concentración a otra de menor concentración.

Transporte activo

Todas las células necesitan introducir o eliminar algunas sustancias en contra de su gradiente de concentración (de una región de menor concentración a una de mayor). Como el movimiento es opuesto a la dirección normal de la difusión, la célula usa **energía** proporcionada por la molécula de **ATP** (adenosin trifosfato). Este proceso por medio del cual las moléculas pasan a través de la membrana en contra de un gradiente de concentración y con uso de energía por parte de la célula se llama **transporte activo**. Este transporte ocurre con la ayuda de otro tipo de proteínas de transporte, las cuales poseen dos sitios activos, uno al que se va unir la molécula que se va a transportar y otro para que se una el ATP. Este último cede energía a la proteína, haciendo que esta cambie de forma y mueva la molécula al otro lado de la membrana. Una vez liberada la molécula, la proteína de transporte recupera su forma original y puede seguir repitiendo el proceso. Un ejemplo de transporte activo es el paso del yodo de la sangre hacia la glándula tiroides. También hay evidencias de que la glucosa, los aminoácidos y algunos iones pasan a las células por este tipo de transporte.

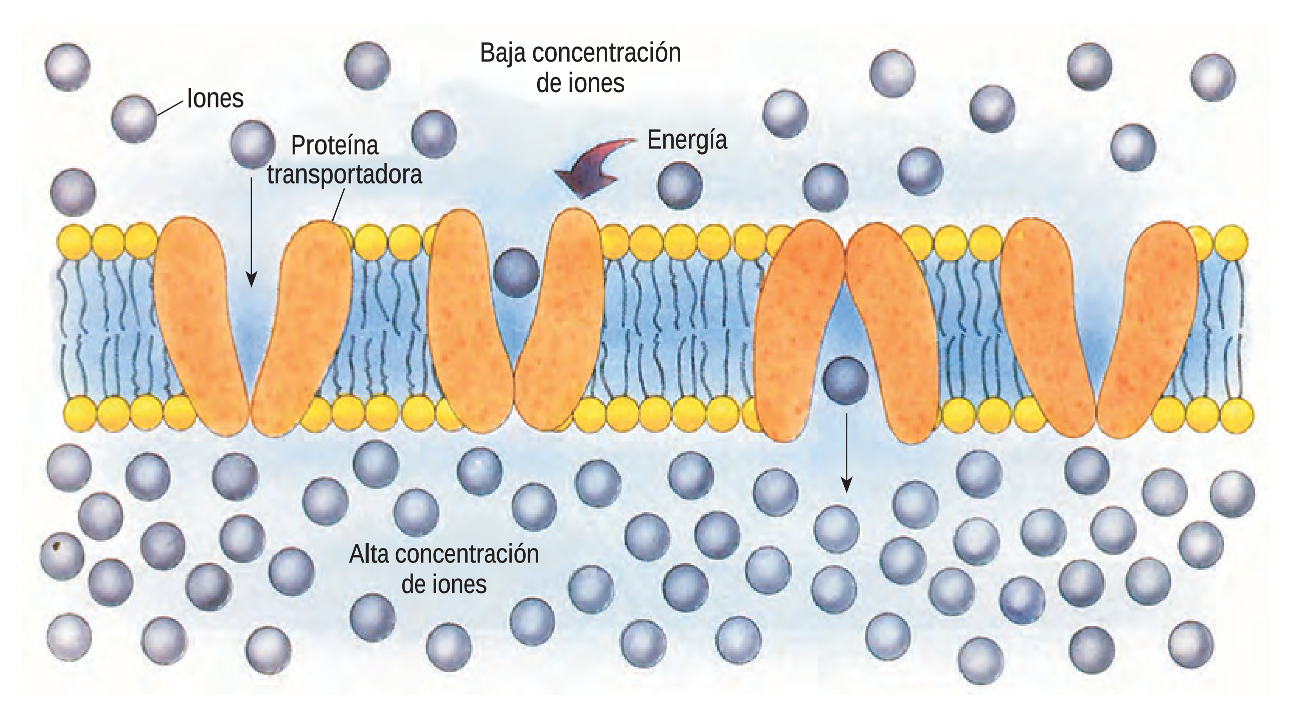


Figura 3.20 En el transporte activo, la energía es usada para modificar la forma de una proteína transportadora. Este cambio permite el movimiento de un ión o molécula a través de la membrana desde una región de concentración más baja a una de mayor concentración.

Transporte mediado por vesículas: endocitosis y exocitosis

En los procesos de transporte anteriores se ha visto como las moléculas pequeñas pasan a través de la membrana plasmática, pero las células también pueden introducir materiales grandes que no pueden pasar a través de la membrana, por un proceso llamado **endocitosis** (del griego "dentro de la célula"). Hay dos tipos de endocitosis: la **pinocitosis** y la **fagocitosis**. En ambos procesos los materiales son introducidos en la célula en un saco membranoso llamado vesícula. En la pinocitosis la célula introduce líquidos dentro de vesículas pequeñas, mientras que en la fagocitosis la célula introduce materiales grandes y sólidos como los microorganismos dentro de vesículas grandes.

En la pinocitosis una parte muy pequeña de la membrana plasmática se hunde, conteniendo líquido extracelular. Esta depresión formada se separa como una vesícula llena de líquido (Fig. 3.21).

Casi todas las células eucariotas, tanto las de organismos unicelulares como las de animales multicelulares, introducen constantemente líquidos mediante la pinocitosis. En cambio, la fagocitosis sólo se ha observado en algunos organismos unicelulares como la amiba y en células animales como los leucocitos, que son células de la sangre que se encargan de defender al organismo, fagocitando las bacterias patógenas o dañinas que han penetrado a él. Por ejemplo, un leucocito llamado macrófago emite extensiones de su membrana llamadas pseudópodos (del latín "falso pie"). Los pseudópodos rodean a la bacteria, los extremos se fusionan formando una vesícula grande (vacuola alimenticia) que engloba a la bacteria. La vacuola alimenticia se fusiona con lisosomas cuyas enzimas digieren a la bacteria. Este mismo proceso es llevado a cabo por los organismos unicelulares para obtener nutrientes.

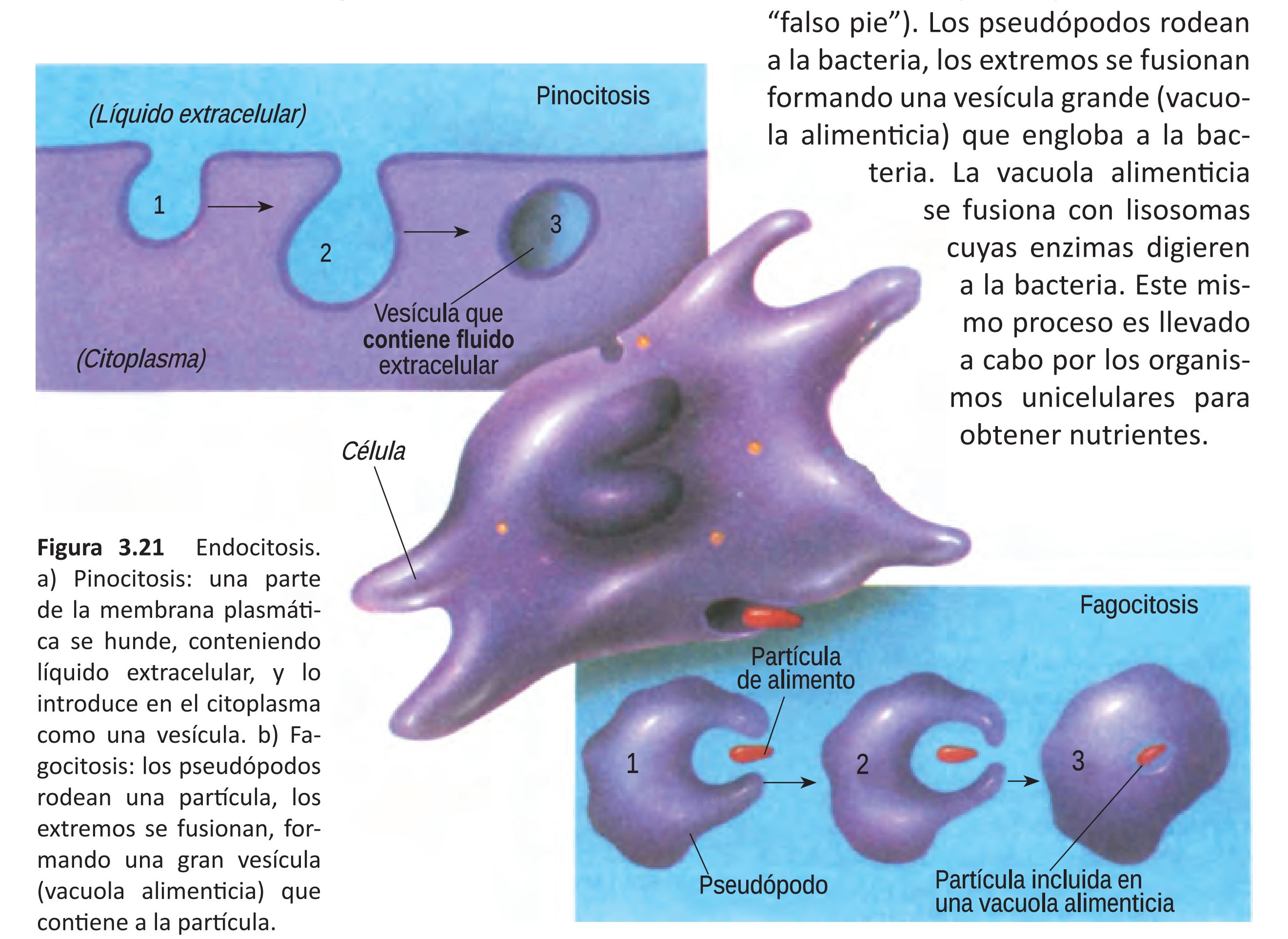


Figura 3.21 Endocitosis. a) Pinocitosis: una parte de la membrana plasmática se hunde, conteniendo líquido extracelular, y lo introduce en el citoplasma como una vesícula. b) Fagocitosis: los pseudópodos rodean una partícula, los extremos se fusionan, formando una gran vesícula (vacuola alimenticia) que contiene a la partícula.

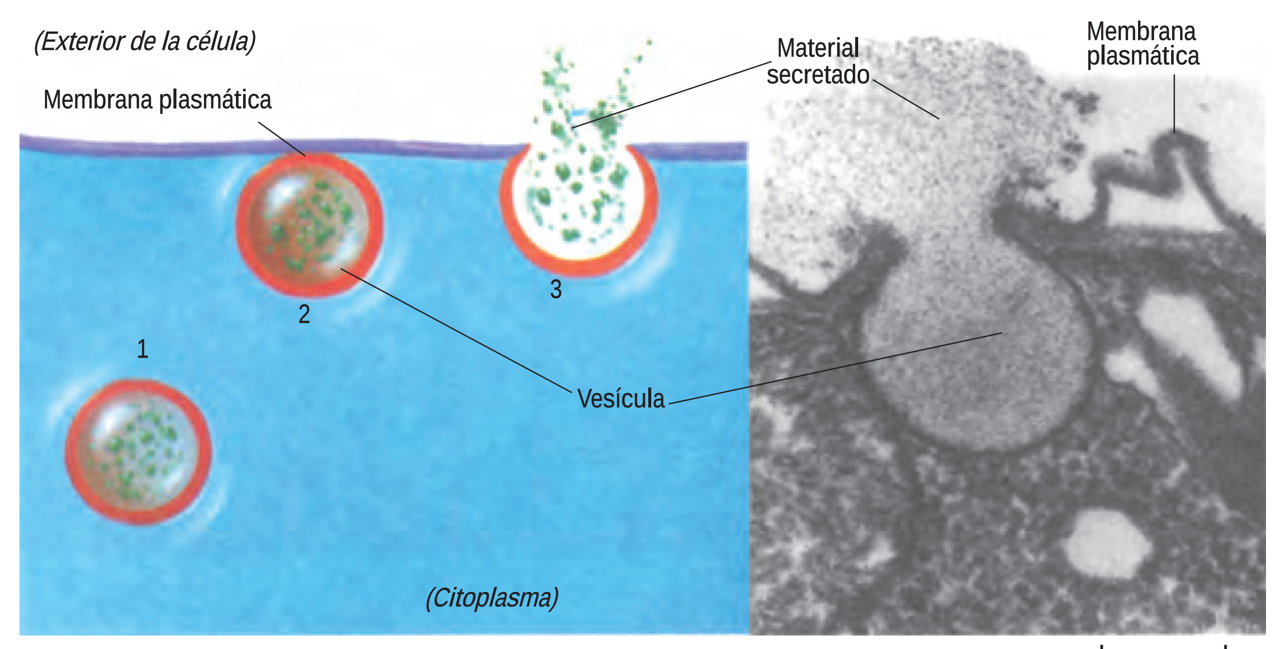


Figura 3.22 Exocitosis. Ilustración y micrografía electrónica (derecha) sobre la exocitosis. El material que va a ser sacado de la célula se encuentra dentro de una vesícula que se mueve hacia la superficie de la célula. *¿Qué sucede cuando la vesícula llega a la superficie celular?*

La **exocitosis** es el proceso contrario a la endocitosis, consiste en la salida de sustancias de la célula hacia el fluido extracelular a través de una vesícula que se origina en el aparato de Golgi y que al fusionarse con la membrana plasmática, se abre liberando su contenido. Por exocitosis la célula expulsa productos de desecho obtenidos de su actividad o sustancias que normalmente secreta como son las hormonas y las enzimas que van a ser útiles en algún otro sitio del organismo.

El núcleo

El **núcleo** es el centro de control de la célula eucariota ya que dentro de él está el material genético o ADN. Esta molécula posee la información necesaria para construir a la célula y dirigir las incontables reacciones químicas necesarias para la vida y la reproducción. La mayoría de las células tienen un núcleo (uninucleadas), pero algunas tienen dos núcleos (binucleadas) o más de dos (multinucleadas) como es el caso de las células musculares estriadas que constituyen nuestros músculos. La célula no puede sobrevivir si el núcleo se ha perdido o se ha dañado extensamente, aunque existen algunas

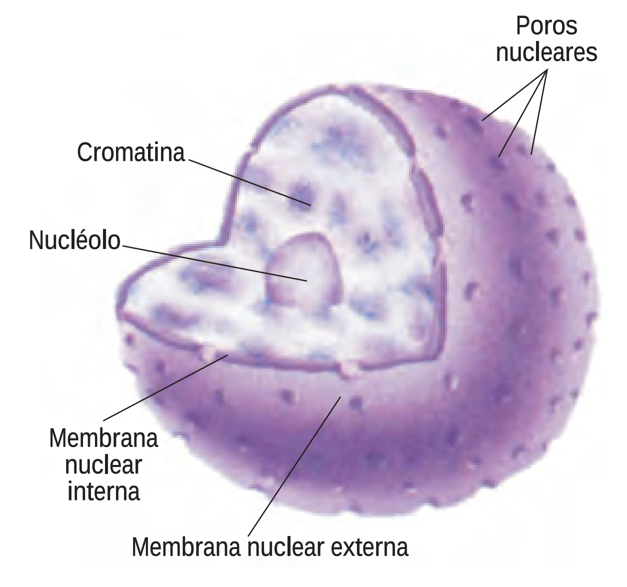


Figura 3.23 El núcleo contiene cromatina y nucléolos. *¿Qué estructuras lo comunican con el resto de la célula?*

excepciones como la de los glóbulos rojos de los mamíferos, los cuales sobreviven durante algunos meses después de que pierden el núcleo durante el proceso de maduración, por eso se les llama células anucleadas.

En las células uninucleadas el núcleo por lo general se localiza cerca del centro, pero se puede encontrar en cualquier parte de la célula; su forma puede ser esférica u ovalada. El núcleo está constituido de cuatro partes: la **envoltura nuclear**, el **nucleoplasma**, el **nucléolo** y la **cromatina**.

La envoltura nuclear

El núcleo está separado del citoplasma circundante por la **envoltura nuclear**, la cual esta formada por dos membranas que poseen entre ellas un pequeño espacio (10 a 50 nanómetros), pero que a intervalos frecuentes se unen formando aberturas circulares o **poros nucleares** por los cuales pasan materiales hacia dentro y hacia fuera del núcleo. La envoltura nuclear posee miles de estos poros.

El nucleoplasma

Es la sustancia fundamental semilíquida y rica en proteínas localizada dentro de la membrana nuclear, en la cual se hallan suspendidos los nucléolos y la cromatina.

El nucléolo

El **nucléolo** es una estructura esférica que se encuentra en la mayor parte de los núcleos eucarióticos. Carece de una membrana propia, por lo que se encuentra rodeado del nucleoplasma. Puede haber uno o más nucléolos en el núcleo, cada nucléolo es producido por una región organizadora del nucléolo (NOR), localizada en un sitio particular de un cromosoma. Los nucléolos están formados de ARN ribosomal (ARNr), proteínas, ribosomas en diversos estadíos de síntesis y ADN.

En el nucléolo se lleva a cabo la síntesis del ARNr y el ensamblaje de las dos subunidades que constituyen a los ribosomas, organelos encargados de la síntesis de las proteínas. Durante la división celular, en tanto que la cromatina se condensa en cromosomas, el material del nucléolo se dispersa volviendo a condensarse en las nuevas células hijas.

La cromatina y cromosomas

Tanto la cromatina como los cromosomas se localizan dentro del núcleo, y gracias al microscopio electrónico y a los avances en biología molecular, se

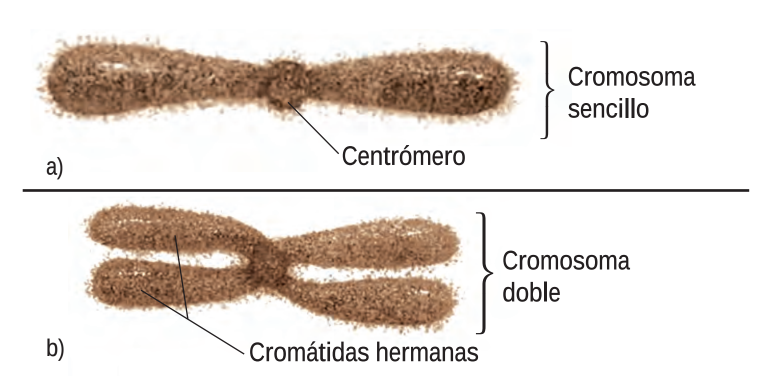


Figura 3.24 a) Cromosoma sencillo o no duplicado, consta de una sola cromátida. b) Cromosoma doble o duplicado, consta de dos cromátidas.

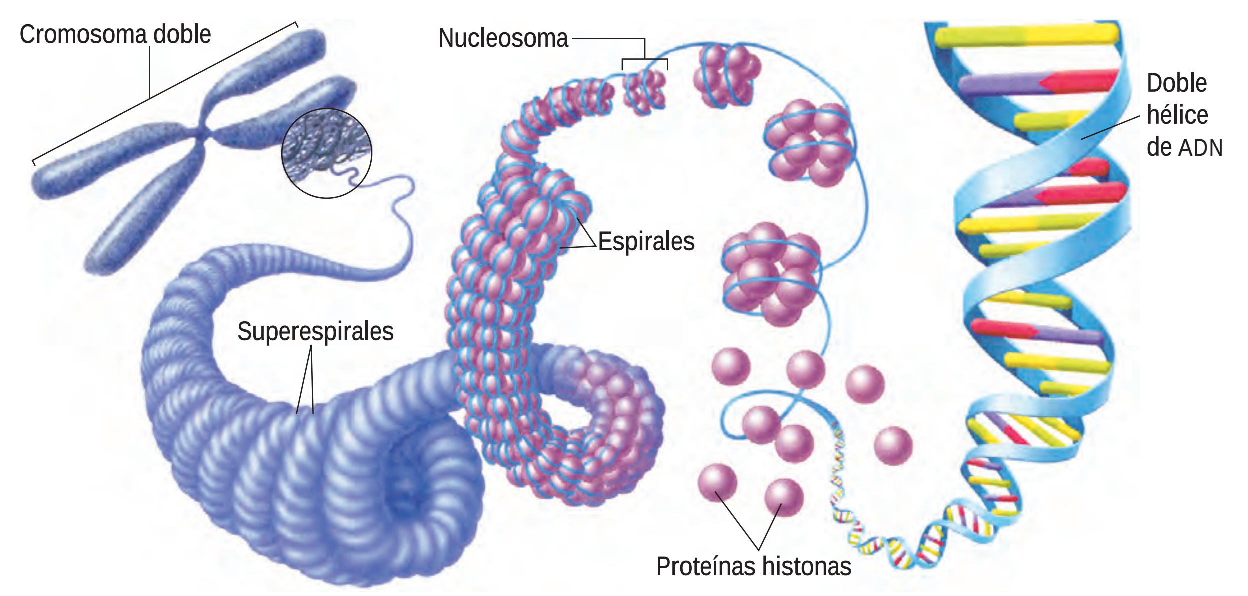


Figura 3.25 Condensación de cromosomas. Los cromosomas eucariotas contienen ADN enrollado alrededor de unas proteínas llamadas histonas, constituyendo un nucleosoma. Estos a su vez se enrollan formando gruesas hebras, las cuales se siguen enrollando para formar una estructura compacta, es decir, un cromosoma.

sabe actualmente que ambos tienen la misma composición química, **ADN** y **proteínas**, pero en diferentes etapas de condensación. Cuando la célula no está dividiéndose, el ADN es una maraña de hilos delgados o hebras extendidas a través del nucleoplasma, cuando se encuentran en esta forma se le llama **cromatina**. Cuando la célula va a dividirse, las hebras se enrollan haciéndose más gruesas y cortas, constituyendo así a los **cromosomas**, los cuales pueden observarse con el microscopio compuesto de luz. Estos cromosomas condensados miden de 5 a 20 micrómetros de longitud aproximadamente, en cambio, estos mismos cromosomas en su fase de cromatina miden de 10 mil a 40 mil micrómetros de longitud. Los cromosomas son los portadores del material hereditario, los **genes**.

La estructura de los cromosomas es sencilla, consta de un filamento de ADN y proteínas llamado **cromátida**; en una región de la cromátida se observa una pequeña zona circular llamada **centrómero**.

Antes de que la célula inicie su división, cada cromosoma se duplica apareciendo entonces cromosomas dobles, los cuales tienen dos cromátidas unidas por un solo centrómero.

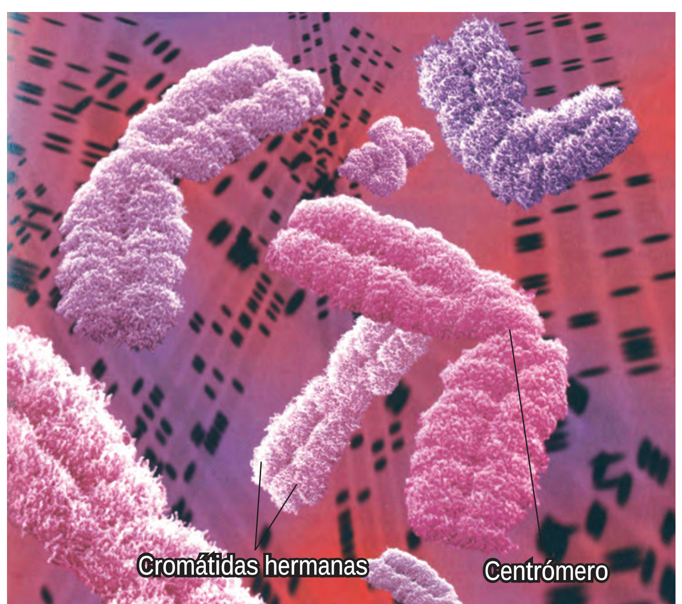


Figura 3.26 Micrografía electrónica de barrido que muestra algunos cromosomas humanos durante la división celular. *¿Son cromosomas sencillos o dobles?*

Mientras están unidas, reciben el nombre de **cromátidas hermanas**. Cada cromátida es una molécula única de ADN idéntica al ADN del cromosoma original antes de la duplicación. Durante la división celular, las dos cromátidas hermanas se separan, y cada cromátida forma un cromosoma hijo independiente que seran distribuidos equitativamente en cada célula hija.

Organelos celulares

Como ya se mencionó anteriormente, el material dentro de la membrana plasmática se divide en el núcleo y el citoplasma. El citoplasma a su vez está constituido por el citosol y los organelos restantes, estos organelos que se encuentran inmersos en el citosol serán descritos a continuación.

El retículo endoplásmico (RE)

El **retículo endoplásmico** (RE) descubierto en 1945 por Keith Porter, es un conjunto de sacos aplanados, tubos y canales membranosos interconectados en el citoplasma. El RE forma una red que se extiende desde la membrana nuclear hasta la membrana celular. Existen dos tipos de retículo endoplásmico, **rugoso** y **liso**, los cuales son continuos uno con el otro. El RE rugoso (RER) tiene numerosos ribosomas adheridos a su superficie externa, los cuales le dan un aspecto rugoso, de ahí su nombre. En cambio, el RE liso (REL) carece de ribosomas. El RER participa principalmente en la **síntesis de proteínas** debido a su asociación con los ribosomas; las proteínas sintetizadas pasan al interior del RE y pueden permanecer allí para ser utilizadas en el interior de la célula o finalmente pueden ser secretadas hacia el exterior. El REL está más bien relacionado con la **síntesis** y **transporte de lípidos** (grasas, fosfolípidos y esteroides) o en la destoxificación de una variedad de venenos. Los materiales (proteínas, lípidos) destinados a ser secretados se transportan a través del citoplasma en vesículas que se han desprendido del retículo endoplásmico. Estas vesículas migran hacia el aparato de Golgi al cual se fusionan. Una vesícula es una pequeña esfera o bolsita rodeada por una membrana que contiene diversas sustancias.
Además de tener diferente función, el RER y el REL también se distinguen por la disposición y abundancia de sus membranas. Las membranas del RER están dispuestas como pilas de sacos aplanados, mientras que las membranas del REL están formando una red de tubos; observa la figura 3.27.

Los ribosomas

Los **ribosomas** son organelos no membranosos que están constituidos por dos subunidades, una grande y otra pequeña, cada una de las cuales está compuesta de ARN ribosomal (ARNr) y una gran cantidad de proteínas. Cuando se juntan las dos subunidades, forman una compleja máquina molecular. En las micrografías electrónicas, los ribosomas se observan como gránulos obscuros que se pueden encontrar libres en el citoplasma, ya sea aislados o en grupos (polirribosomas), o adheridos a la membrana del retículo endoplásmico y a la membrana externa del núcleo. Tienen un diámetro aproximado de 15 a 30 nanómetros. A pesar de que los ribosomas son muy pequeños, su función es muy importante ya que en ellos se lleva a cabo la **síntesis de proteínas**, por lo

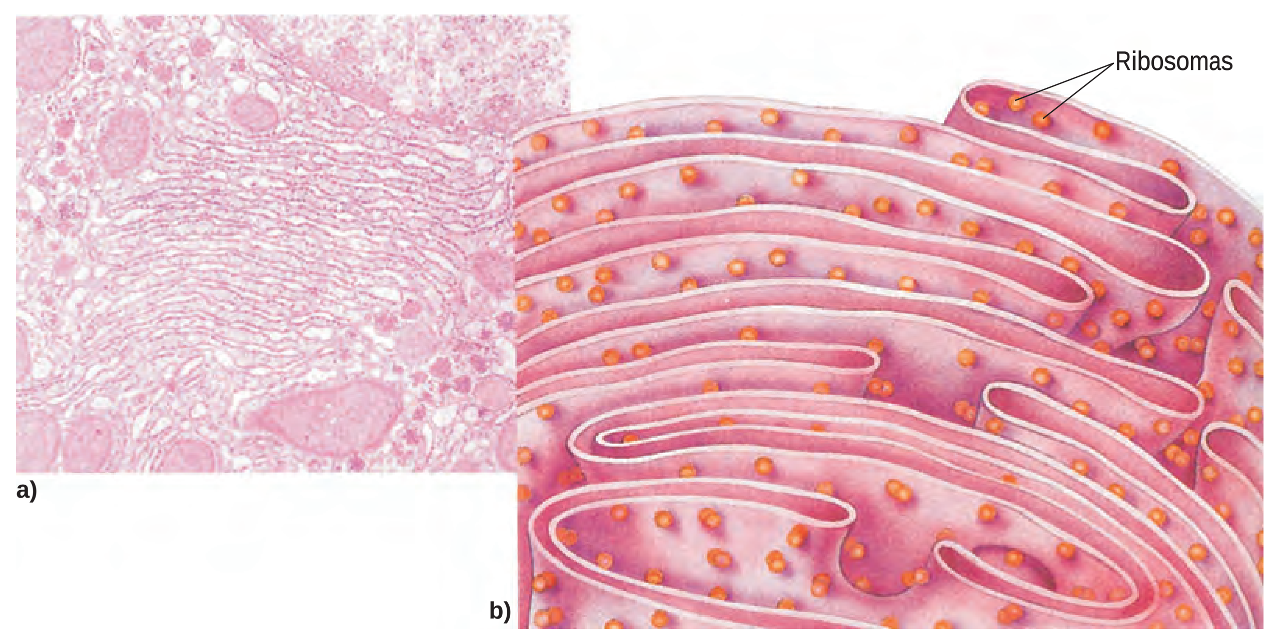


Figura 3.27 a) Micrografía electrónica y b) dibujo del retículo endoplásmico rugoso. *¿Qué organelos se encuentran adheridos al retículo endoplásmico?*

que se les conoce como las fábricas de proteínas de la célula. Los ribosomas son los organelos celulares más numerosos; una célula puede contener hasta medio millón de ribosomas, especialmente si está activa sintetizando proteínas.

La distribución de los ribosomas en las células eucariotas está relacionada con la utilización de las proteínas ya sea dentro o fuera de la célula. Por ejemplo, en los glóbulos rojos inmaduros que fabrican hemoglobina, los ribosomas se distribuyen en todo el citoplasma; mientras que en células productoras de enzimas digestivas, hormonas o mucus que son liberados o exportados fuera de la célula, los ribosomas se encuentran en gran cantidad unidos al retículo endoplásmico.

Tanto las células procariotas como las eucariotas poseen ribosomas, aunque en las primeras son más pequeños.

El aparato de Golgi

Este organelo fue descubierto en 1898 por el citólogo italiano **Camilo Golgi**, quien le llamó aparato reticular interno. Por esta aportación, Golgi recibió el premio Nobel en 1906. El nombre de **aparato de Golgi** le fué asignado en 1914 por el investigador español Santiago Ramón y Cajal en honor a su descubridor. El aparato de Golgi es un conjunto de sacos aplanados membranosos que se originan a partir del retículo endoplásmico. Alrededor del aparato de Golgi hay pequeñas vesículas de 50 nanómetros o más de diámetro. Las proteínas y lípidos sintetizados por el retículo endoplásmico llegan al aparato de Golgi, donde algunas moléculas pueden ser modificadas, por ejemplo, agregándoles azúcares para hacer glucoproteínas y glucolípidos. Finalmente empaca estas sustancias en vesículas que son transportadas a otras partes de la célula o a la membrana celular para su exportación. Cuando las sustancias empacadas son enzimas digestivas, la vesícula recibe el nombre de **lisosoma**; resumiendo sus funciones son **almacenar**, **modificar** y **empacar** las sustancias de secreción. Es especialmente notable en las células que participan activamente

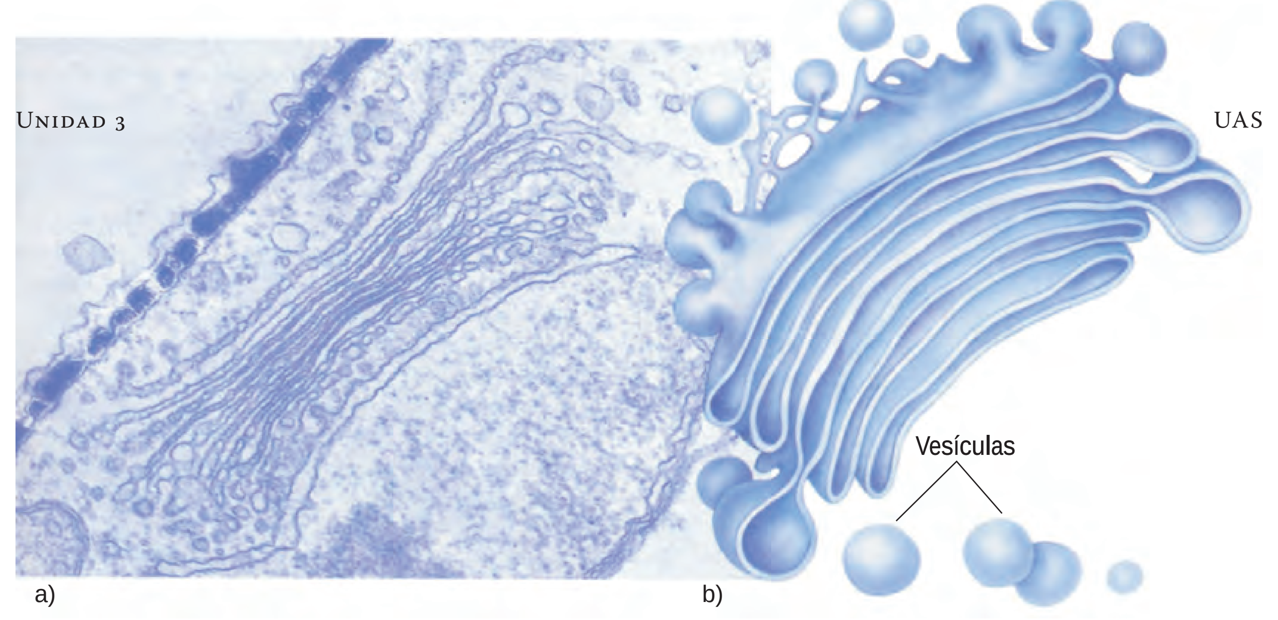


Figura 3.28 a) Micrografía electrónica y b) dibujo de un aparato de Golgi. Nótense las vesículas que se segregan de los bordes del aparato de Golgi.

en el proceso de secreción. Las células de los animales suelen contener de 10 a 20 aparatos de Golgi y las de las plantas pueden tener varios centenares. La celulosa secretada por las células vegetales para formar la pared celular se sintetiza dentro del aparato de Golgi.

Los lisosomas

Los **lisosomas** descubiertos en 1949 por Christian de Duve, son vesículas que contienen enzimas digestivas que pueden fragmentar por hidrólisis a las proteínas, grasas y carbohidratos en las subunidades que los constituyen.

Las enzimas digestivas son sintetizadas por los ribosomas del retículo endoplásmico. Hasta la fecha, los investigadores han encontrado unas **50 enzimas digestivas** en los lisosomas. Con algunas excepciones, los lisosomas se encuentran en todas las células animales, así como en muchos protistas y hongos y en una variedad de células vegetales. El tamaño de los lisosomas varía desde 0.5 micrómetros de diámetro hasta varios micrómetros, en el caso de vesículas grandes.

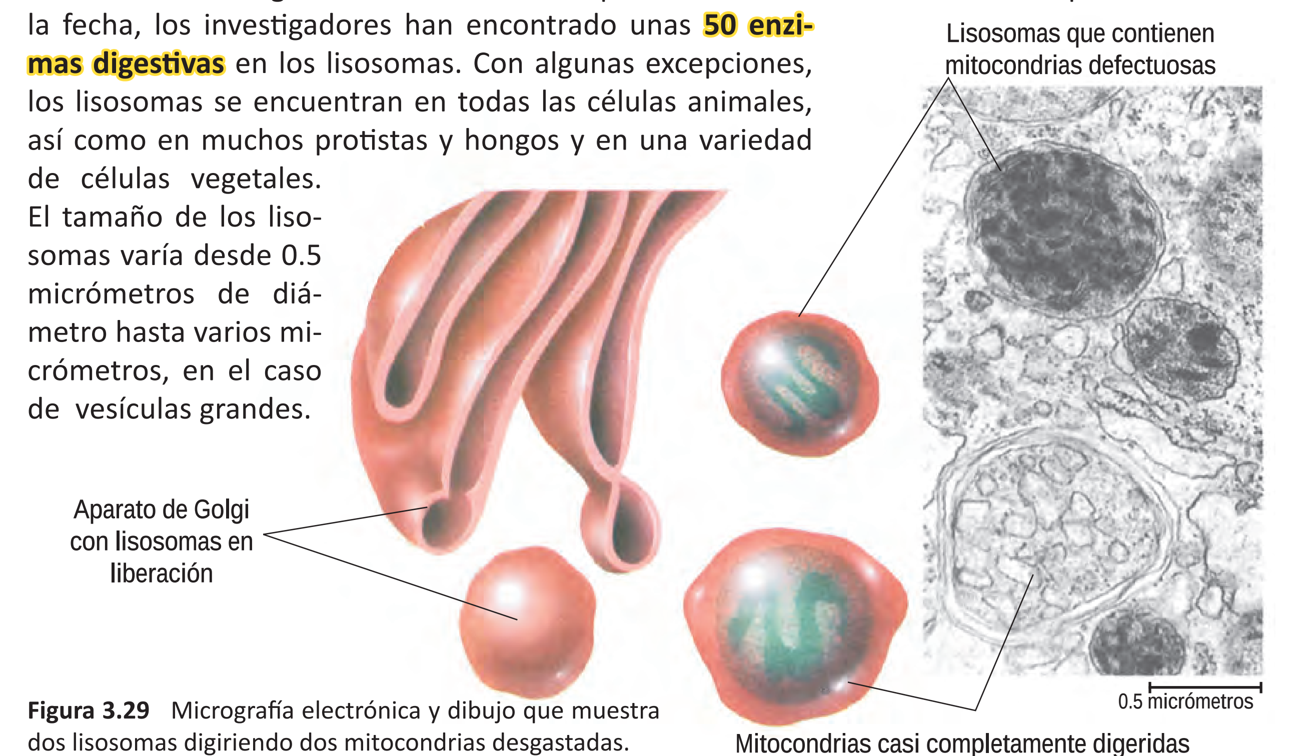


Figura 3.29 Micrografía electrónica y dibujo que muestra dos lisosomas digiriendo dos mitocondrias desgastadas.

Una de las funciones de los lisosomas es **digerir los alimentos** y otros materiales que entran a la célula por endocitosis. Por ejemplo, cuando un organismo unicelular como la amiba ingiere una "partícula alimenticia" por fagocitosis, esta queda dentro de un saco membranoso llamado vacuola alimenticia. Los lisosomas reconocen esta vacuola alimenticia y se fusionan o unen con ella. El contenido de las vesículas se mezcla y las enzimas lisosómicas intervienen en el catabolismo de las moléculas que constituyen a los alimentos convirtiéndolas en monómeros (aminoácidos, ácidos grasos y monosacáridos). Estas moléculas se difunden fuera de la vacuola hacia el citoplasma para nutrir la célula. De esta manera, también los glóbulos blancos de la sangre nos defienden de muchas enfermedades al fagocitar y digerir las bacterias patógenas o dañinas que penetran a nuestro organismo. Otra función de los lisosomas es **digerir organelos** defectuosos, dañados o viejos, como mitocondrias o cloroplastos. Los organelos defectuosos son incluidos en vesículas que se fusionan con los lisosomas. Este proceso permite que la célula vuelva a utilizar o recicle las sustancias que constituyen a estos organelos. También participan en la destrucción o **autolisis de la célula**. Cuando una célula muere, los lisosomas se revientan y sus enzimas degradan sus componentes, los cuales pueden ser utilizados como materia prima por otras células.

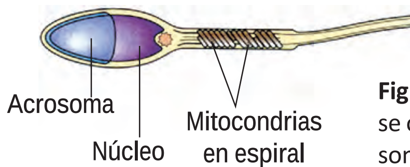


Figura 3.30 Espermatozoide humano, donde se observa un lisosoma gigante llamado acrosoma. *¿Cuál es la función de este lisosoma?*

Un ejemplo muy interesante de un lisosoma es el que se encuentra en la parte superior de un espermatozoide humano, al que se le da el nombre de **acrosoma**. La función de este lisosoma gigante es la de digerir mediante sus enzimas la cubierta del óvulo, permitiendo así que penetre el espermatozoide y se lleve a cabo la fecundación.

Las vacuolas

Casi todas las células contienen **vacuolas**, estas son cuerpos parecidos a las burbujas, rodeados por una membrana cuyo contenido dependerá de la célula donde se encuentre. Las células vegetales maduras tienen una **vacuola central**, que puede llegar a ocupar hasta tres cuartas partes o más del volumen de la célula. La función de esta vacuola es almacenar

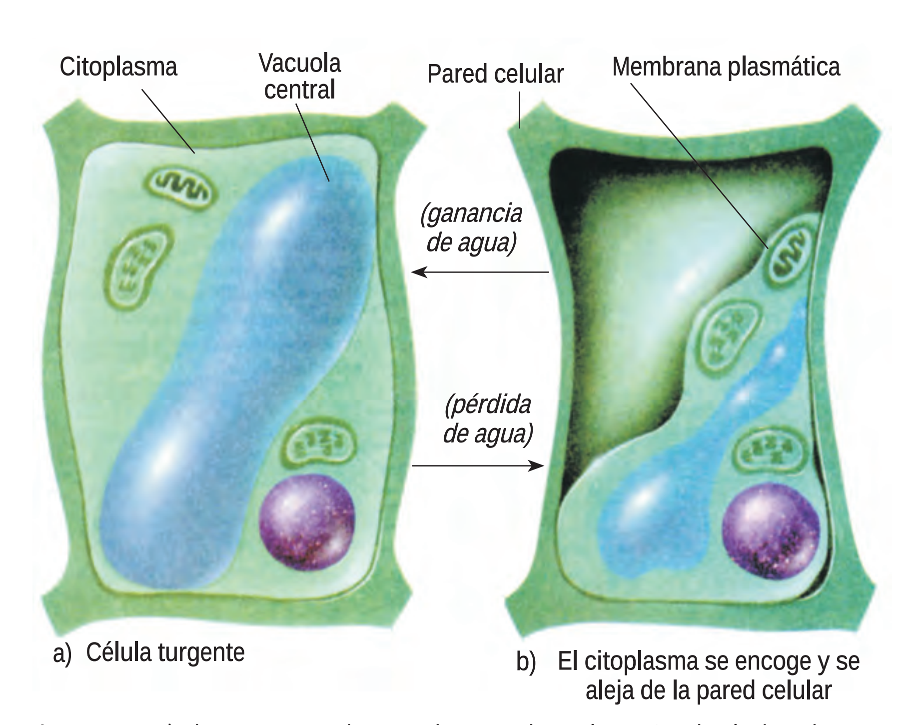


Figura 3.31 a) El agua entra a la vacuola central por ósmosis, elevándose la presión dentro de la vacuola. Esta presión empuja al citoplasma en contra de la pared celular, lo que permite que la célula esté hinchada o turgente, manteniendo su forma. b) Cuando la vacuola central pierde agua y se encoge, la planta se marchita. *¿A qué se debe esto?*

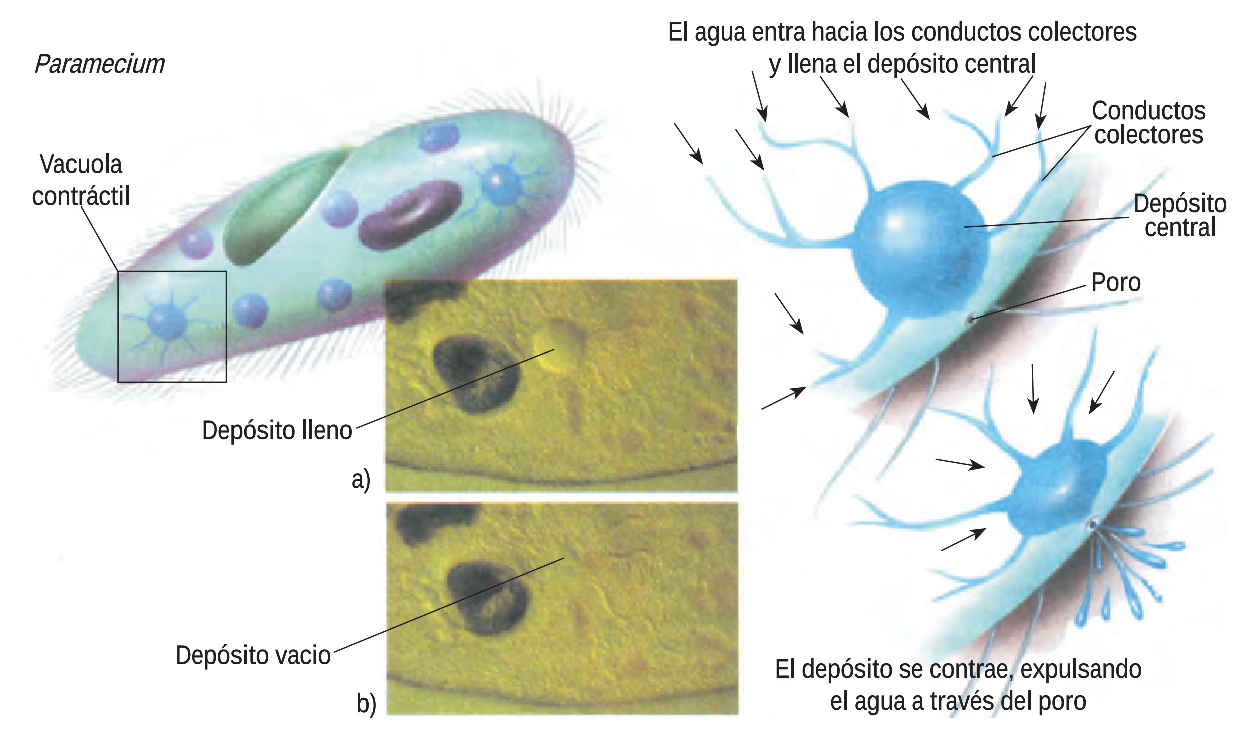


Figura 3.32 El *Paramecium* contiene vacuolas contráctiles. a) La ósmosis ocasiona que el agua entre constantemente a la célula, la cual es captada por los conductos colectores y drena hacia el depósito central de la vacuola. b) Cuando está lleno, el depósito se contrae sacando el agua a través de un poro en la membrana plasmática.

diversas sustancias de reserva tales como almidón, proteínas, grasas y pigmentos. La vacuola, al hincharse, ejerce presión contra la pared celular proporcionando así a la célula un alto grado de firmeza o turgencia, lo cual permite que las hojas, flores y tallos tiernos de las plantas se mantengan firmes y no marchitos.

Otros organismos que presentan vacuolas grandes son las algas y los hongos verdaderos. En cambio, en las células animales si acaso se presentan, son pequeñas. Casi todos los protozoarios tienen vacuolas digestivas con alimentos en proceso de digestión, además de vacuolas contráctiles que expulsan fuera de la célula el exceso de agua. Por ejemplo, en un protozoario de agua dulce como el *Paramecium,* el agua entra constantemente a la célula por ósmosis (figura 3.32). Si el exceso de agua no fuera eliminado por las vacuolas contráctiles, este organismo estallaría. Recuerda que el *Paramecium* es un protista unicelular.

Las mitocondrias

A las **mitocondrias** se les conoce como las "centrales de energía" de las células debido a que en ellas se lleva a cabo un proceso muy importante llamado **respiración**, en él se obtiene la energía que la célula requiere para realizar sus actividades como por ejemplo: la síntesis de sustancias, el transporte activo, la división celular, movimiento de cilios y flagelos, la contracción muscular, etc. Si una célula no obtiene energía, no sólo no funciona sino, además, al poco tiempo se desintegra.

Estos organelos presentan formas muy variadas, las puede haber cilíndricas, ovaladas, esféricas o hasta con la apariencia de una papa. Las micrografías electrónicas muestran que las mitocondrias presentan dos membranas: una externa lisa que encierra al organelo, y una interna que se dobla

en numerosos sitios formando pliegues, llamados **crestas**. En el interior de la membrana interna se encuentra la **matriz**, un líquido muy viscoso. Las mitocondrias tienen aproximadamente el tamaño de una bacteria, aunque las puede haber mucho más grandes. La figura 3.33 muestra una micrografía electrónica de una mitocondria, así como un esquema de su estructura.

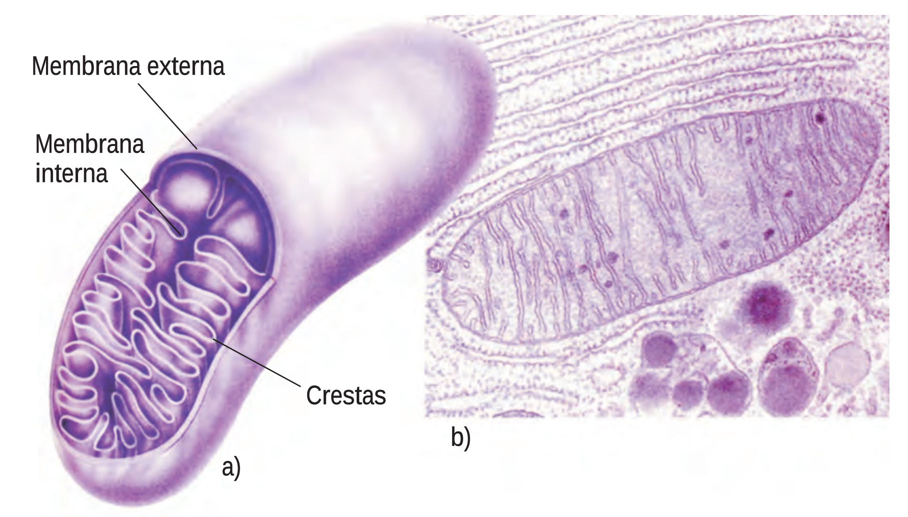


Figura 3.33 a) Esquema de una mitocondria mostrando su estructura interna y b) micrografía de una mitocondria. Las mitocondrias están rodeadas por dos membranas. *¿Qué nombre reciben los pliegues de la membrana interna?*

Cuanto mayor sea la cantidad de energía que requiere una célula, más numerosos son estos organelos. Por ejemplo, un hepatocito (célula del hígado), que tiene un requerimiento de energía moderado, posee unas 2 mil 500 mitocondrias, mientras que las células del músculo cardíaco tienen varias veces más mitocondrias.

Cuando se observan células vivas, las mitocondrias se mueven de un sitio a otro en el citoplasma, cambian de forma y tamaño. También al igual que los cloroplastos tienen su propio ADN y sus propios ribosomas, además de que se multiplican originando nuevas mitocondrias, observa la figura 3.34.

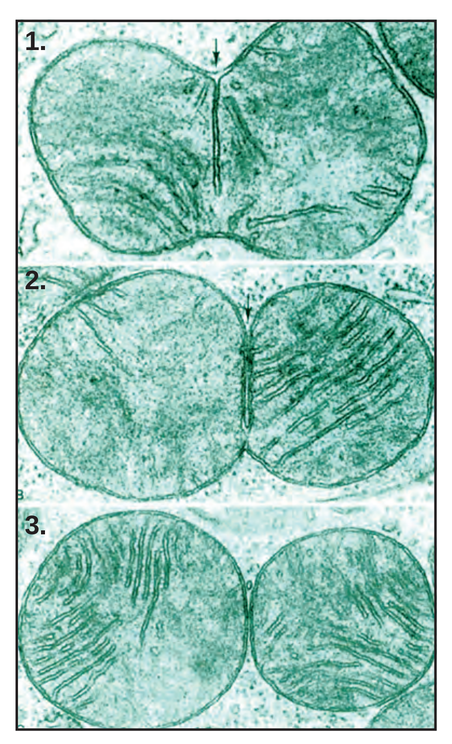


Figura 3.34 Serie de micrografías electrónicas que muestran la división de una mitocondria. Observa que se forma un surco membranoso, el cual divide a la mitocondria en dos mitocondrias hijas.

Respiración celular

Por lo general, cuando se habla de respiración, inmediatamente lo relacionamos con la inspiración y la espiración, que son la entrada y salida respectivamente de aire de los pulmones. Este proceso es sólo un intercambio de gases entre el organismo y el aire que lo rodea, que permite aportar oxígeno a las células de los tejidos del organismo y eliminar el bióxido de carbono, desecho que resulta de la actividad celular. Pero el término "respiración" también es utilizado por bioquímicos y biólogos celulares para referirse a un proceso mucho más complicado mediante el cual la célula obtiene la energía necesaria para realizar todas sus actividades. Dicho proceso se realiza dentro de la célula, por eso se le llama **respiración celular**. Durante este proceso, la principal molécula orgánica utilizada por las células como fuente de energía o "combustible" es la

glucosa. Esta molécula, como ya sabes, es un carbohidrato que posee seis átomos de carbono. Cuando por alguna razón los carbohidratos disminuyen en el organismo, este puede utilizar los lípidos y, en casos extremos, las proteínas como fuente de energía. Tanto los lípidos como las proteínas son transformadas a glucosa para poder ser utilizadas como combustible.

Con todo lo mencionado anteriormente, podemos definir la **respiración celular** como el proceso en donde la molécula de glucosa se descompone hasta bióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O), liberándose la energía química que contiene. La energía liberada de la glucosa no queda "libre", sino que pasa a formar enlaces de fosfato en una molécula que cede fácilmente la energía, llamada **trifosfato de adenosina** o **ATP**.

Como recordarás, esta energía que se libera proviene del Sol y fue atrapada durante la fotosíntesis en forma de energía química contenida en los enlaces de moléculas orgánicas (carbohidratos, lípidos y proteínas) y que almacenada en los alimentos, puede ser utilizada por las células por medio del proceso de la nutrición.

La respiración celular comprende muchas reacciones, sin embargo, la reacción general se representa con la siguiente ecuación:

$$\underset{\text{glucosa}}{C_6H_{12}0_6} + \underset{\text{oxígeno}}{6\,0_2} \longrightarrow \underset{\text{bióxido de carbono}}{6\,CO_2} + \underset{\text{agua}}{6\,H_20} + \underset{\text{energía}}{ATP}$$

Este proceso ocurre en dos etapas: la primera, llamada **glucólisis,** es anaeróbica porque no necesita oxígeno. La glucólisis es una serie de reacciones que se llevan a cabo en el citosol de la célula mediante las cuales una molécula de glucosa se desdobla en dos moléculas de ácido pirúvico. Este desdoblamiento libera solamente el 7 % de la energía química almacenada en la glucosa, la cual queda en las dos moléculas de ATP que se producen. El resto de la energía permanece en las uniones de las dos moléculas de ácido pirúvico.

Fase anaerobia (se realiza en el citosol)

$$\underset{\text{glucosa}}{C_6H_{12}0_6} \longrightarrow \underset{\text{ácido pirúvico}}{C_3H_40_3} + H_2 + \underset{\text{energía}}{2\,ATP}$$

La segunda etapa se lleva a cabo en las mitocondrias y es aeróbica porque requiere de oxígeno. Esta etapa está constituida por tres fases: la **formación de acetil Co A**, el **ciclo de Krebs** y el **transporte de electrones**. En estas fases se lleva a cabo un conjunto de reacciones en las cuales el ácido pirúvico se degrada a bióxido de carbono y agua, produciéndose grandes cantidades de ATP. Esta etapa produce de 34 a 36 moléculas de ATP dependiendo de la célula.

Fase aerobia (se realiza en las mitocondrias)

$$\underset{\text{ácido pirúvico}}{C_3H_40_3} + 0_2 \longrightarrow \underset{\text{bióxido de carbono}}{CO_2} + \underset{\text{agua}}{H_20} + \underset{\text{energía}}{34\text{ a }36\,ATP}$$

Como podrás observar, la mayor cantidad de ATP se forma durante la etapa aeróbica. Es decir, entre mayor es el nivel de degradación de la glucosa, mayor energía se obtiene y más eficiente es el proceso respiratorio. Si sumamos los ATP producidos en las dos etapas, tendremos que en el proceso de respiración celular, la degradación de una molécula de glucosa produce de 36 a 38 ATP.

Fermentación

La mayoría de los seres vivos obtienen su energía mediante la respiración celular, sólo algunos microorganismos la obtienen mediante un proceso que no requiere de oxígeno, el cual es llamado **respiración anaerobia** o **fermentación**. La primera parte de la fermentación es la glucólisis, en la cual, se forman dos moléculas de ácido pirúvico y dos moléculas de ATP. En la segunda parte, el ácido pirúvico puede convertirse ya sea en alcohol etílico y CO_2, o en ácido láctico; esto dependerá del tipo de organismo.

Las levaduras y otros microorganismos llevan a cabo la fermentación, que convierte el ácido pirúvico formado en la glucólisis, en alcohol etílico y CO_2, lo cual se conoce como **fermentación alcohólica**. Mediante este tipo de fermentación se elaboran productos como el vino, la cerveza y el pan. En el caso del pan, la levadura que se le agrega convierte el azúcar del trigo en alcohol y CO_2. El CO_2 que es un gas, hace que el pan se esponje, mientras que el alcohol se evapora cuando el pan se está horneando.

Las reacciones de la fermentación alcohólica se pueden representar de la siguiente manera:

$$\underset{\text{glucosa}}{C_6H_{12}O_6} \longrightarrow \underset{\text{alcohol etílico}}{2\,C_2H_5OH} + \underset{\text{bióxido de carbono}}{2\,CO_2} + \underset{\text{energía}}{2\,\text{ATP}}$$

Algunos otros microorganismos convierten el ácido pirúvico en ácido láctico, este tipo de fermentación se llama **fermentación láctica**.

La elaboración de alimentos lácteos como el yogurt, la crema ácida, el jocoque y la mayoría de los quesos, se basa en el proceso de fermentación láctica realizada por diversas bacterias. El ácido láctico les proporciona a estos alimentos su sabor característico.

La reacción de esta fermentación puede representarse como:

$$\underset{\text{glucosa}}{C_6H_{12}O_6} \longrightarrow \underset{\text{ácido láctico}}{2\,C_3H_6O_3} + \underset{\text{energía}}{2\,\text{ATP}}$$

La fermentación láctica también es llevada a cabo por las células de nuestros músculos, por poco tiempo y bajo ciertas condiciones. Cuando se hace ejercicio, los músculos necesitan grandes cantidades de ATP como fuente de energía y esta es proporcionada por el proceso de respiración celular que se está llevando a cabo en cada una de las células musculares. Pero cuando el ejercicio es exagerado, el aporte de oxígeno de los pulmones es insuficiente para mantener la fase aeróbica de la respiración celular. Es en este momento cuando las células musculares recurren a la fermentación láctica para obtener energía.

Cuando el ácido láctico se acumula en los músculos, causa un malestar intenso, fatiga y una sensación de ardor, lo cual provoca que la persona disminuya o detenga el ejercicio. Este descanso, a su vez, provoca que el aporte de oxígeno pulmonar sea suficiente y se vuelva a llevar a cabo la respiración celular.



Figura 3.35 Algunos productos de la fermentación: vinos, quesos y pan.

El ácido láctico acumulado en los músculos es transportado por la sangre al hígado, donde es convertido de nuevo a ácido pirúvico. Esta conversión no se realiza en las células musculares ya que estas no poseen las enzimas que se requieren.

Los dos tipos de fermentación producen 2 ATP por cada molécula de glucosa que se degrada.

Trifosfato de adenosina (ATP)

La molécula portadora de energía más común en las células es el **trifosfato de adenosina**, que se abrevia como ATP, el cual está constituido por la **adenosina** y **tres grupos fosfato**. La adenosina está constituida a su vez por una base nitrogenada, la **adenina** y un azúcar, la **ribosa**. En la figura 3.36 observa su fórmula estructural. La molécula de ATP puede representarse como A-P~P~P, donde la A representa la adenosina y las P son los grupos fosfato. Las líneas onduladas (~) entre los dos últimos grupos fosfato, representan enlaces de alta energía. El ATP es una fuente inmediata de energía para todas las actividades del organismo.

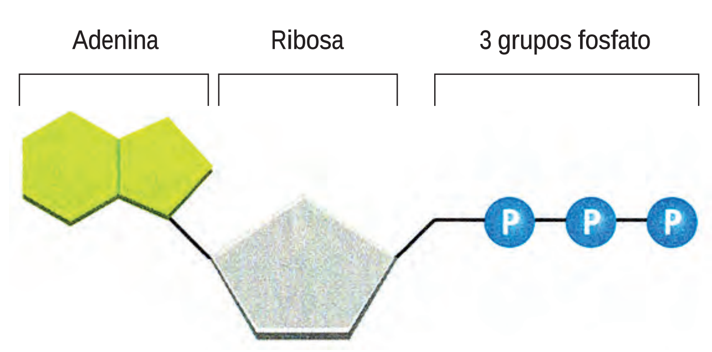
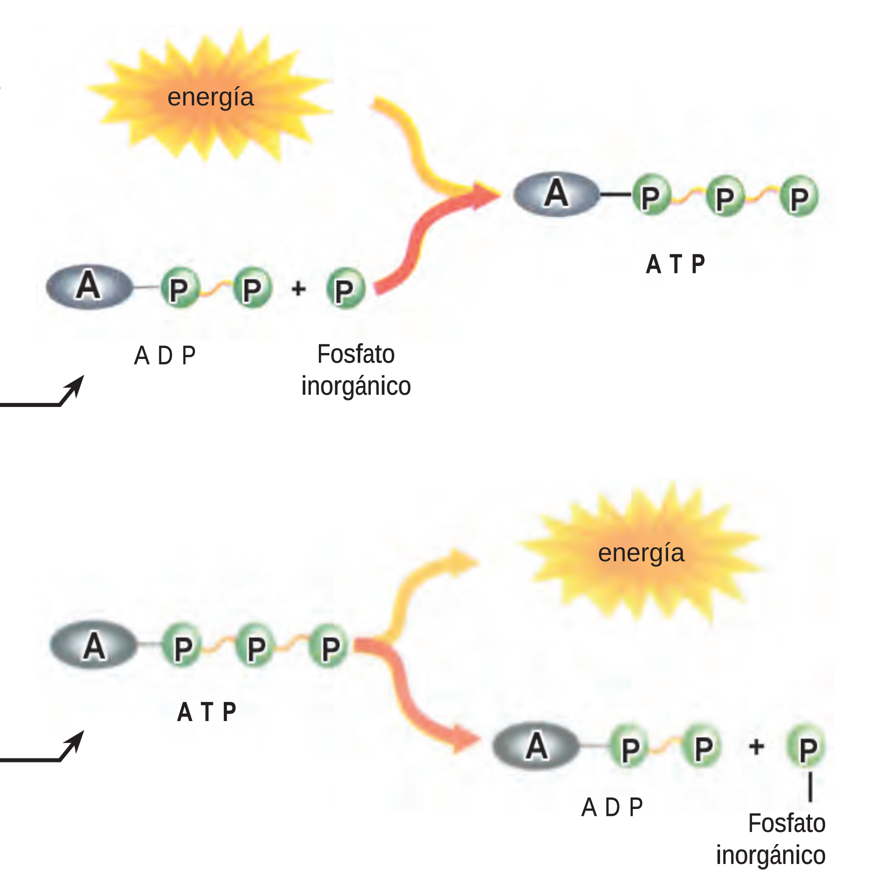


Figura 3.36 Fórmula estructural del ATP. El ATP es la fuente de energía básica de todos los tipos de células.

La energía liberada mediante la respiración celular es utilizada para sintetizar ATP a partir del difosfato de adenosina (ADP) y fosfato inorgánico, los cuales se encuentran en la célula. El ADP capta la energía liberada de la glucosa en un tercer enlace fosfato y se convierte en ATP. Este proceso puede representarse de la siguiente manera:

La molécula de ATP conserva su energía hasta el momento en que la célula requiere de ella para realizar alguna actividad celular, entonces se rompe el enlace del tercer fosfato rico en energía, formándose ADP y fosfato inorgánico. La reacción puede escribirse así:

El ADP y el fosfato inorgánico, por lo común se reciclan formando de nuevo ATP.



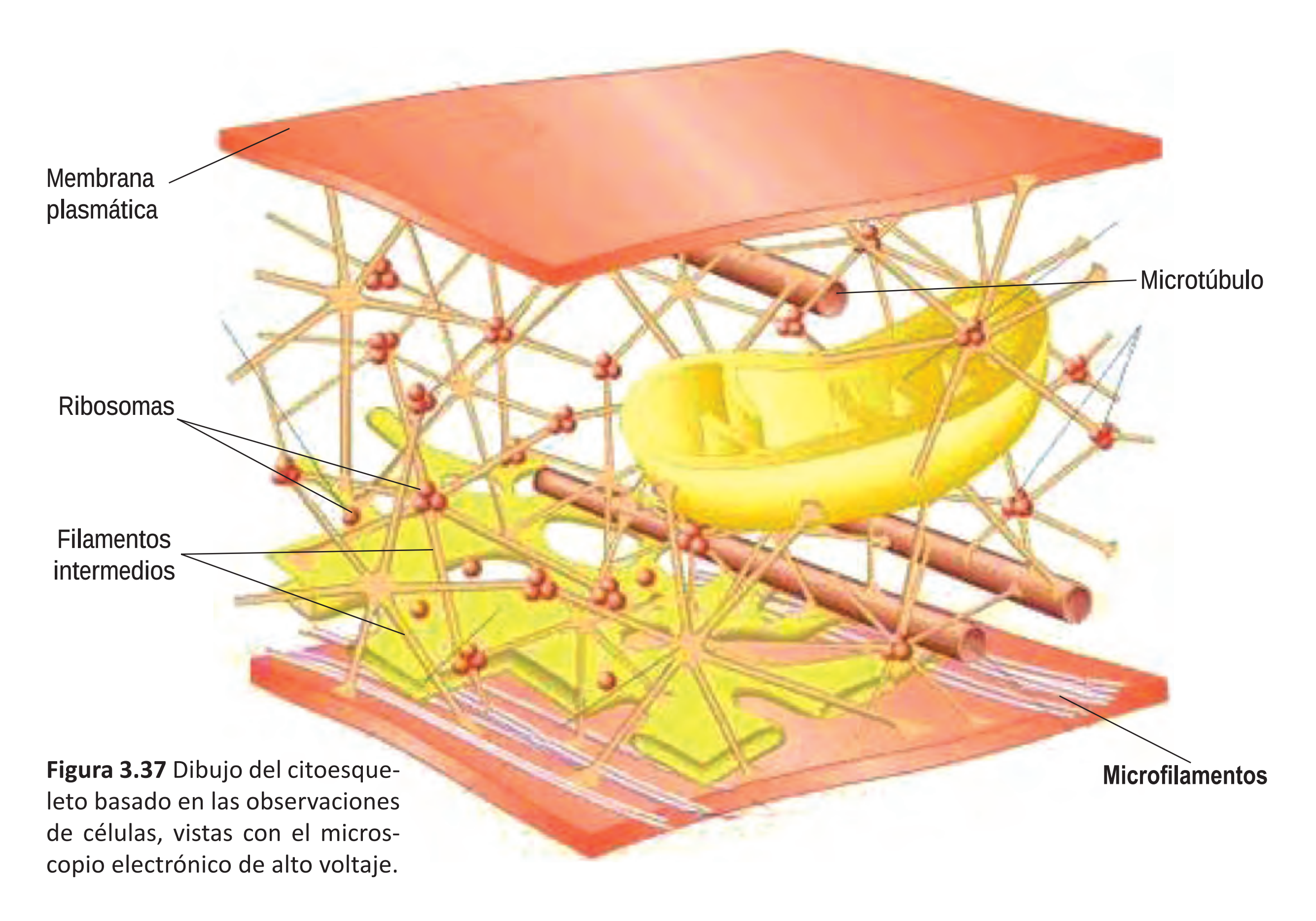


Figura 3.37 Dibujo del citoesqueleto basado en las observaciones de células, vistas con el microscopio electrónico de alto voltaje.

El citoesqueleto

El **citoesqueleto** como su nombre lo indica es una especie de esqueleto o armazón de la célula que se encuentra distribuido por todo el citoplasma, semejando una red. Se descubre en la década de 1970 mediante la microscopía electrónica de alto voltaje.

El citoesqueleto está constituido por tres tipos de estructuras proteícas: los **microfilamentos**, los **microtúbulos** y los **filamentos intermedios**. Los microfilamentos tienen el aspecto de hebras y están compuestos principalmente por las proteínas actina y miosina. Los microtúbulos son unos pequeños tubos constituidos por la proteína tubulina y además de formar parte del citoesqueleto, son los componentes básicos con los que están construidos los centríolos, cuerpos basales, cilios, flagelos y el huso mitótico. Este último se forma durante la división celular. Los filamentos intermedios, están compuestos por proteínas que varían según el tipo de célula. Observa estas estructuras en la figura 3.37.

Son varias las funciones del citoesqueleto:

- Da forma y soporte a la célula
- Sostiene y mueve los organelos
- Participa en el movimiento de la célula. Por ejemplo: en el movimiento “amiboideo” de amibas y glóbulos blancos, la formación de pseudópodos se debe al ensamblado, desensamblado y deslizamiento de los microfilamentos y los microtúbulos del citoesqueleto.

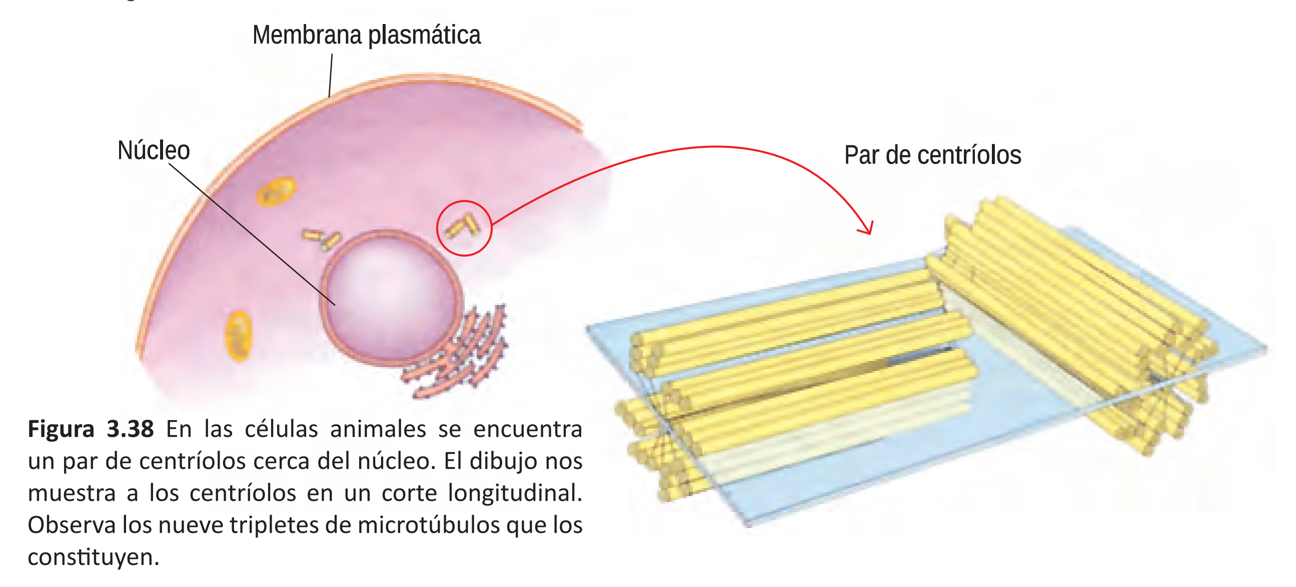


Figura 3.38 En las células animales se encuentra un par de centríolos cerca del núcleo. El dibujo nos muestra a los centríolos en un corte longitudinal. Observa los nueve tripletes de microtúbulos que los constituyen.

Los centríolos y cuerpos basales

Las células animales, algunas algas y hongos contienen cerca del núcleo dos cuerpos cilíndricos huecos, perpendiculares entre sí, llamados **centríolos**. El microscopio electrónico permite observar que las paredes de los centríolos están constituidas por nueve conjuntos de microtúbulos, con tres microtúbulos en cada conjunto.

Los centríolos participan en la formación del **huso mitótico**, durante la división celular. Cabe aclarar que los centríolos no son esenciales para la formación del huso mitótico o para la división de la célula, ya que se forman normalmente en los organismos que no los poseen, como es el caso de las plantas.

También dan origen a los **cilios** y **flagelos**, sólo que en este caso reciben el nombre de **cuerpos basales**, por localizarse en la base de estas estructuras motoras. Por ejemplo, a medida que un espermatozoide adquiere su forma, un centríolo se aproxima a la membrana celular y el flagelo (cola) del espermatozoide surge de él mediante el ensamblaje de microtúbulos.

Los cilios y flagelos

Los **cilios** y los **flagelos** de células eucariotas son extensiones delgadas de la membrana plasmática que se encuentran en muchas células. Cada cilio y flagelo está constituido por microtúbulos en forma de haces tubulares que se originan a partir de un cuerpo basal (ver figura 3.39). Cada microtúbulo esta formada por una proteína llamada tubulina. Algunos autores a estas estructuras les llaman undulipodios.

En las células con cilios y flagelos, los centríolos se multiplican y los “centríolos hijos” se mueven hacia la superficie de la célula, colocándose por debajo de la membrana plasmática, originando los microtúbulos que forman un cilio o un flagelo.

Los cilios (de *cilium*: pestaña) son cortos y numerosos; mientras que los flagelos (de *flagellum*: látigo) son largos y poco numerosos. Ambos se mueven casi continuamente por lo que necesitan de una gran cantidad de ATP, la cual es proporcionada por las abundantes mitocondrias que generalmente se encuentran cerca de los cuerpos basales.

Las células procariotas también tienen flagelos, pero son más pequeños y su estructura es diferente de tal manera que están formados por una sola fibrilla constituída por la proteína flagelina.

En muchos organismos unicelulares, los cilios y los flagelos sirven para la locomoción. Por ejemplo, un *Paramecium* puede tener unos 17 mil cilios, que al moverse coordinadamente le permiten desplazarse por el agua. Otro organismo unicelular la *Chlamydomona*, una alga verde, posee dos flagelos que le permiten también desplazarse por el agua. Una célula del cuerpo humano, el espermatozoide, producido en los testículos del varón, se mueve mediante su flagelo. Otras células humanas presentan cilios y se localizan revistiendo la tráquea (conducto del sistema respiratorio) y las trompas de Falopio del sistema reproductor femenino. En este caso, los cilios no mueven a las células, sino que sirven para arrastrar sustancias a lo largo de la superficie celular. Los cilios de las células que tapizan la tráquea pulsan hacia arriba para crear una corriente de moco que arrastra las sustancias extrañas como el polvo, el polen y el alquitrán del tabaco, hacia la garganta, donde se puede eliminar mediante la deglución (tragar). Este proceso evita que estas sustancias se depositen directamente sobre la membrana celular, mientras que las células ciliadas de las trompas de Falopio, mueven el óvulo hacia el útero o matriz.

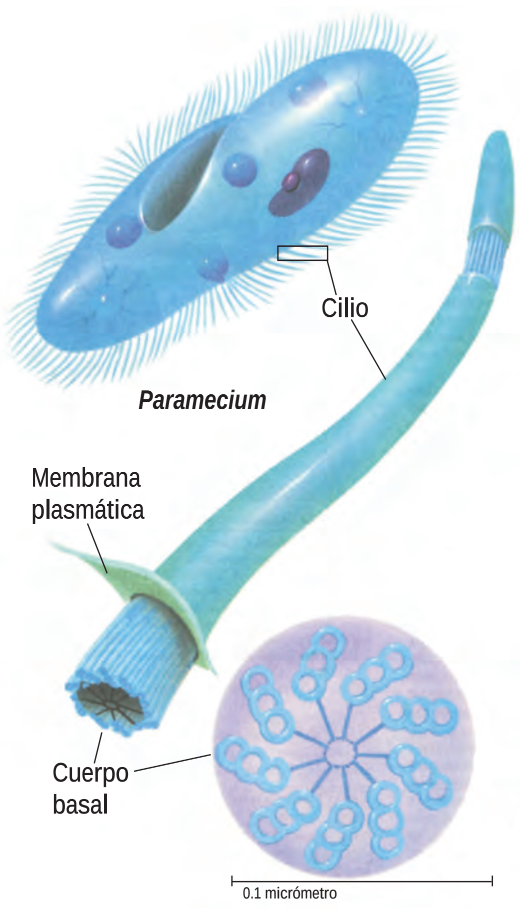


Figura 3.39 Estructura de un cilio que muestra su cuerpo basal, el cual tiene nueve tripletes fusionados, a partir de estos surgen los microtúbulos que lo constituyen.

La pared celular

En muchos organismos, la membrana plasmática no es el borde más externo. Las plantas, las algas, los hongos y las bacterias tienen una pared celular, situada después de la membrana plasmática. Las **paredes celulares** de plantas y algas están constituidas principalmente del polisacárido **celulosa**. Las paredes celulares de hongos y bacterias están constituidos por otros materiales. Las células de estos organismos secretan la pared celular.

La pared celular vegetal

La **pared celular** es una de las características más sobresalientes de la célula vegetal. Está constituida de tres partes: **lámina media**, **pared celular primaria** y **pared celular secundaria**. La lámina media se forma entre células adyacentes durante la división celular. Está constituida por una sustancia gelatinosa llamada pectina, que actúa como un cemento que une a las células. Durante el proceso de maduración, las frutas se vuelven suaves debido a la disolución de la pectina y la

separación de las células. La pared celular primaria se localiza entre la membrana plasmática y la lámina media, y se forma durante el desarrollo de la célula, es decir, mientras la célula está creciendo. Esta pared celular primaria es más delgada en los pétalos, hojas y frutas suaves que en los tallos. Es la responsable de que los vegetales "crujan" cuando se muerden. Al terminar el crecimiento, muchas células maduras secretan más celulosa formando una pared celular secundaria gruesa entre la pared primaria y la membrana plasmática. Esta pared secundaria hace a la célula más fuerte y proporciona el grado de soporte que requiere una planta grande, como un árbol. Estas paredes permanecen mucho tiempo después de que las células mueren. Lo que observó Robert Hooke en 1665, fueron las paredes secundarias de las células muertas del corcho.

Las paredes celulares secundarias de las plantas nos proporcionan madera, papel, algodón, lino y cáñamo; los derivados de la celulosa se emplean para fabricar rayón, celofán y plásticos.

Las paredes celulares son una especie de armazón que les proporcionan protección y soporte a las células de las plantas, esto último les permite a las plantas permanecer erectas sobre la tierra.

La pared celular, a diferencia de la membrana plasmática, es permeable a la mayoría de las moléculas y no controla el paso de materiales hacia dentro y hacia afuera de la célula. Además, la pared celular presenta orificios diminutos llamados **plasmodesmos**, a través de los cuales se establece contacto entre una célula y otra, realizándose intercambio de sustancias entre ellas. Observa la pared celular de la célula vegetal de la figura 3.10.

Los plástidos o plastos

Los **plástidos** son organelos que se encuentran solamente en las células de las plantas y de las algas. Al igual que el núcleo y las mitocondrias, estos organelos están limitados o rodeados por dos membranas. Los plástidos maduros son de tres tipos: **cloroplastos**, **cromoplastos** y **leucoplastos**.

Cloroplastos (de *chloro*: verde)

Los **cloroplastos** son los plástidos más comunes y los de mayor importancia biológica, pues la vida en nuestro planeta depende de su función, que es el proceso de **fotosíntesis**. Estos organelos se caracterizan por la presencia de **clorofila**, pigmento verde que atrapa la energía lumínica (solar) para la fotosíntesis. Ademas la clorofila es responsable del color verde de las plantas, principalmente el de sus hojas.

Los cloroplastos tienen en general forma ovoide o esférica; su tamaño suele estar comprendido entre 3 y 10 micrómetros de largo en la mayoría de las células. En las algas tienen mayores dimensiones y presentan formas muy

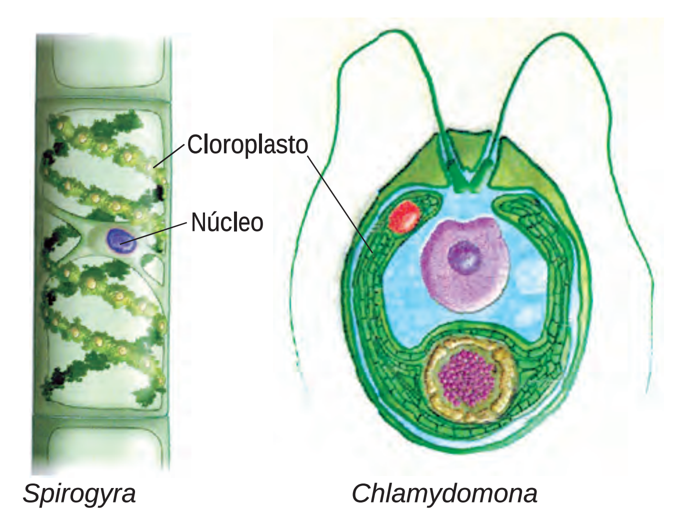


Figura 3.40 Los cloroplastos de plantas terrestres y muchas algas son típicamente de forma ovoide, pero con frecuencia tienen formas no usuales en las algas. El cloroplasto tiene forma de copa en *Chlamydomona* y de espiral en *Spirogyra.*

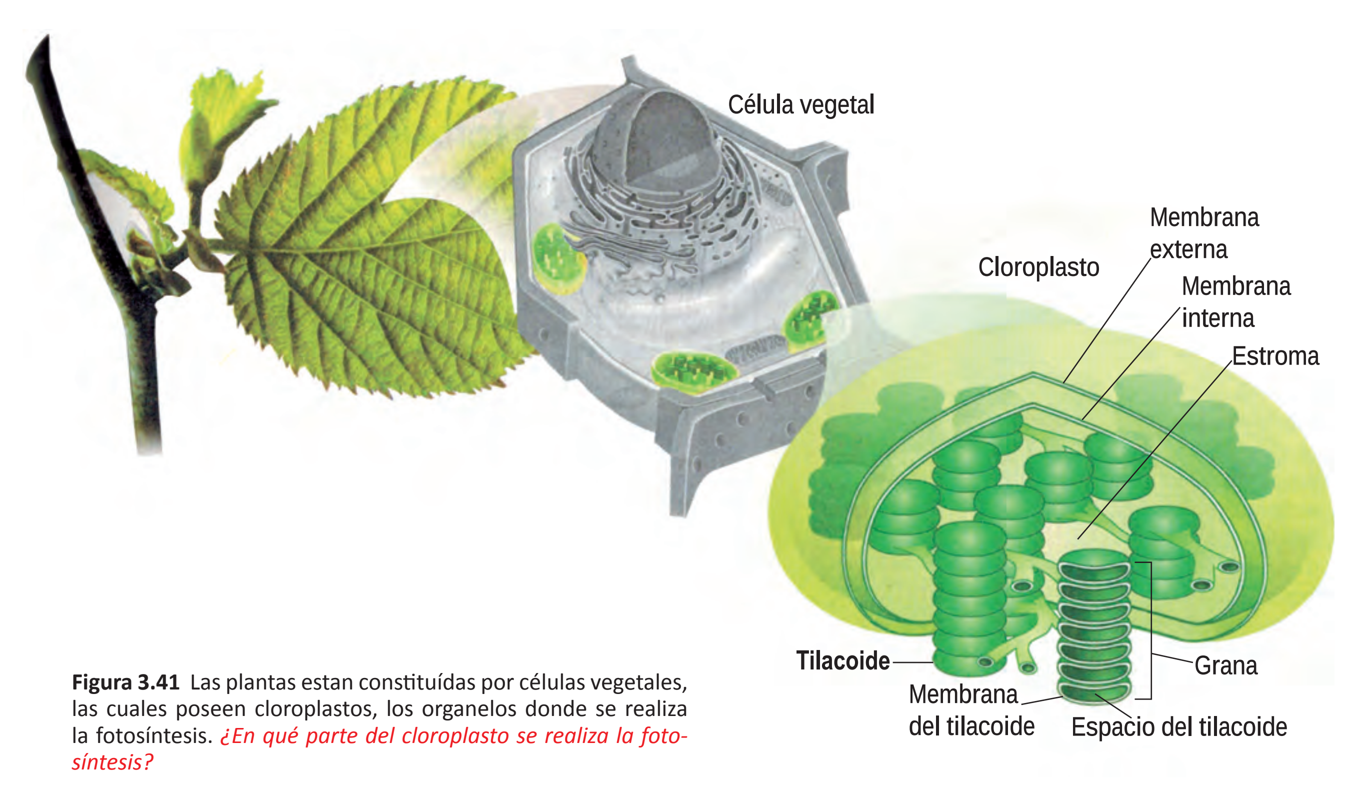


Figura 3.41 Las plantas estan constituídas por células vegetales, las cuales poseen cloroplastos, los organelos donde se realiza la fotosíntesis. *¿En qué parte del cloroplasto se realiza la fotosíntesis?*

variadas (figura 3.40). El número de cloroplastos por célula también varía mucho. Por ejemplo, el alga unicelular *Chlamydomona* tiene un solo cloroplasto, mientras que las células de cualquier hoja poseen de 40 a 100 de estos organelos.

El microscopio electrónico permitió observar con detalle la estructura del cloroplasto, el cual está rodeado por dos membranas y en su interior se encuentran unos sacos membranosos aplanados llamados **tilacoides**, que se disponen en pilas denominadas **grana**. Las granas están rodeadas de una sustancia gelatinosa llamada **estroma**. La clorofila se encuentra en las granas. La figura 3.41 ilustra la estructura del cloroplasto.

Además de la clorofila, algunos cloroplastos contienen pigmentos llamados carotenoides, pigmentos de color amarillo, rojo y anaranjado. En las hojas verdes, estos colores están enmascarados por la clorofila que es más abundante.

Cromoplastos (de *chromo*: color)

Los **cromoplastos** son los plástidos responsables de los colores rojo, amarillo o anaranjado que presentan las frutas, las verduras, las flores y las hojas en el otoño. Estos colores se deben a los pigmentos llamados carotenoides, los cuales se dividen en dos grupos: carotenos de colores anaranjado y rojo, y las xantofilas de color amarillo.

Los cromoplastos pueden derivar de los cloroplastos cuando estos pierden la clorofila. El cambio de color de las frutas verdes al madurar, en muchas plantas se debe a la conversión de cloroplastos en cromoplastos. Por ejemplo, cuando un tomate madura se destruye la clorofila, descubriéndose el color rojo, enmascarado por la clorofila. Otros pigmentos que dan color a las flores y a otras partes de las plantas se encuentran disueltas en las vacuolas. Estos pigmentos son las antocianinas, cuya gama de color va del azul o violeta al rojo.

Leucoplastos (de *leuco*: blanco)

Los **leucoplastos** son plástidos incoloros, su función es almacenar almidón y otras sustancias como proteínas y aceites. Son muy numerosos en raíces como el nabo o en tubérculos como la papa. Las papas son masas de células llenas de leucoplastos que contienen almidón. También se les puede encontrar en otras partes de las plantas como semillas, embriones y en la epidermis de las hojas, tallos y flores.

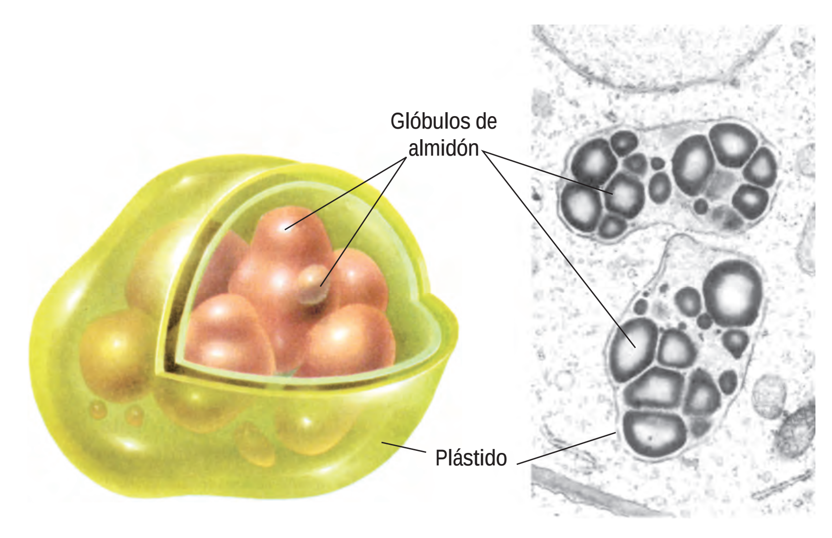


Figura 3.42 Leucoplastos de una célula de papa mostrando los glóbulos de almidón.

Fotosíntesis

La **fotosíntesis** es el proceso mediante el cual las plantas verdes captan (atrapan) la energía solar y la utilizan para sintetizar compuestos de carbono de alta energía como la glucosa, a partir de moléculas de baja energía como el bióxido de carbono y agua. Así, la fotosíntesis convierte la energía solar en energía química que se almacena en la molécula de glucosa. Hay dos tipos de transformaciones durante el proceso fotosintético:

- La energía solar se transforma en energía química
- Las moléculas inorgánicas se transforman en moléculas orgánicas

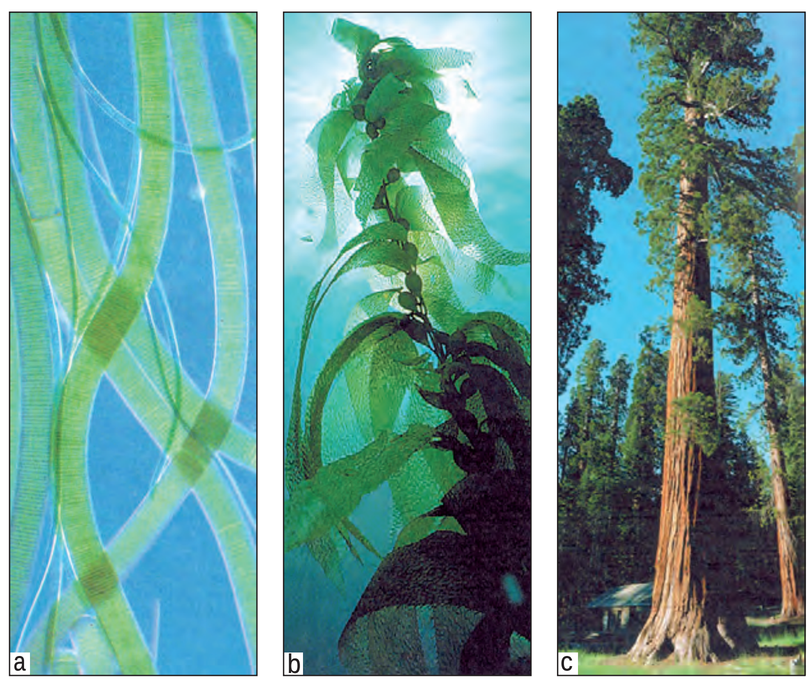
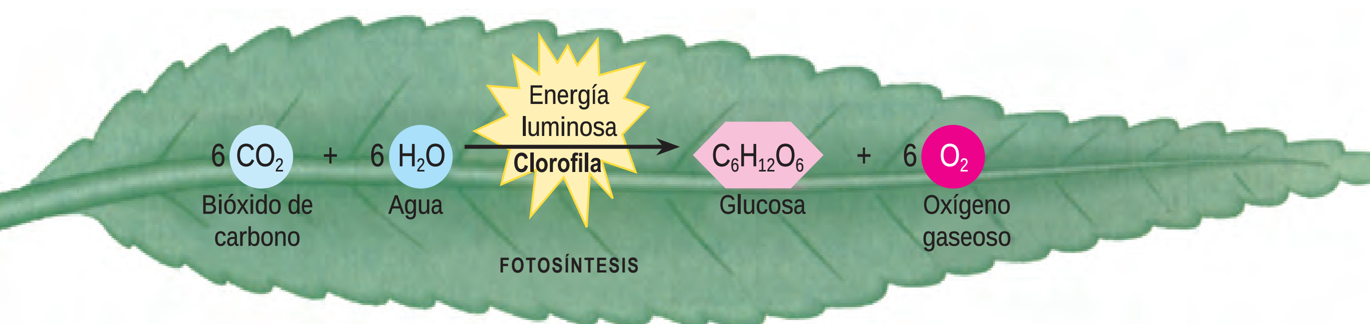


Figura 3.43 Organismos fotosintéticos. Los organismos fotosintéticos incluyen a) cianobacterias tales como *Oscillatoria,* las cuales son un tipo de bacteria; b) algas tales como el *Kelp* que típicamente viven en agua y su tamaño puede variar desde el microscópico hasta el macroscópico y c) plantas tales como el árbol de *Sequoia* las cuales son terrestres.

La fotosíntesis en las plantas se lleva a cabo dentro de los cloroplastos, los cuales se encuentran principalmente en las células de las hojas.

Recuerda que además de las plantas, las algas y algunas bacterias son capaces de usar la energía lumínica del Sol para llevar a cabo la fotosíntesis.

La fotosíntesis es un proceso complejo que implica una serie de reacciones químicas que se resumen en una sola reacción general donde se tienen los factores iniciales y los productos finales:



La fotosíntesis es una **reacción anabólica**, o sea, es una reacción de síntesis o de elaboración de moléculas complejas a partir de moléculas sencillas.

El bióxido de carbono y el agua son las materias primas a partir de las cuales se elabora la glucosa; el bióxido de carbono proporciona el carbono y el oxígeno para la síntesis de glucosa. Se encuentra en el aire y entra por los estomas de las hojas. El agua entra por la raíz de las plantas y proporciona el hidrógeno para la elaboración de la glucosa. El oxígeno del agua es el que se obtiene como un producto final secundario en la reacción general; es el oxígeno que la planta libera al medio ambiente a través de los estomas. Las enzimas controlan la síntesis de glucosa.

Por ser la luz y la clorofila factores básicos en este proceso de la fotosíntesis revisaremos brevemente algunos aspectos importantes como los siguientes:

La luz

La **luz** es energía radiante que viaja o se propaga en ondas. La distancia entre las crestas de las ondas es la longitud de onda. La energía radiante solar es la mezcla de muchas diferentes longitudes de onda. Cuando un rayo de luz pasa a través de un prisma, se separan las diferentes longitudes de onda, dando como resultado una banda de colores llamada "espectro visible". Los colores del espectro visible son: rojo, naranja, amarillo, verde, azul y violeta. Cada color tiene su propia longitud de onda. Las gotas de lluvia hacen lo mismo que el prisma, de ahí que en los días lluviosos y con sol se forme el arco iris.

Cuando la luz choca con un objeto, parte de la energía de la luz se absorbe y se convierte en otras formas de energía, mientras que otra parte de la energía se refleja o se emite dando color al objeto. Cuando la luz choca con una hoja, parte de ella es absorbida por la clorofila y se convierte en energía química que se almacena en las moléculas de glucosa. Mientras que la luz que es reflejada por la clorofila -luz verde- es la responsable del color verde de las plantas.

La clorofila y otros pigmentos

El color verde brillante de las hojas, brotes y tallos jóvenes es producido por la **clorofila**. Existen varias clases de clorofila, las cuales se designan como a, b, c y d. Los pigmentos verdes en las plantas vasculares son las clorofilas a y b. No se exagera cuando se dice que la clorofila es



Figura 3.44 El color verde de las plantas se debe a que la clorofila refleja la luz verde.

el compuesto orgánico más importante que existe sobre la tierra. Este pigmento es el que capacita a las plantas verdes para utilizar la energía del sol y formar carbohidratos con agua y bióxido de carbono. Todos los organismos vivos, con excepción de unas pocas formas de bacterias, dependen directa o indirectamente de la clorofila para su existencia. Los otros pigmentos presentes en los cloroplastos son los **carotenoides** y se les conoce como **pigmentos accesorios**. Los carotenoides también absorben la luz y la transfieren a la clorofila. Estos pigmentos están presentes en la mayor parte de las plantas y absorben la luz azul y verde por lo que se ven de color amarillo, naranja o rojo. Durante la época de otoño podemos observar en muchos árboles los colores amarillo y naranja de dichos pigmentos, esto se debe a que las hojas al envejecer descomponen su clorofila, lo cual permite que se hagan visibles los carotenides.

Las etapas de la fotosíntesis

Son las reacciones dependientes de la luz y las reacciones independientes de la luz.

Reacciones dependientes de la luz

Estas reacciones se efectúan sólo en presencia de la luz y se llevan a cabo en las **granas** de los cloroplastos. Los principales eventos de esta primera etapa son:

- La clorofila y otras moléculas de pigmentos presentes en los cloroplastos absorben la energía de la luz.
- Se produce ATP, el cual se utiliza en la siguiente etapa de la fotosíntesis.
- Las moléculas de agua se rompen en iones de oxígeno y de hidrógeno.

Reacciones independientes de la luz

Las reacciones independientes de la luz se llevan a cabo en el **estroma** de los cloroplastos. El ATP sintetizado durante la primera etapa proporciona la energía necesaria para la síntesis de glucosa a partir de bióxido de carbono. Las reacciones que fijan carbono son una serie de reacciones conocidas como ciclo de Calvin, en honor a su descubridor el Dr. Melvin Calvin. Cada paso del ciclo es catalizado por una enzima específica. Además de la glucosa se pueden sintetizar otros carbohidratos, grasas y otros lípidos y, con la adición de nitrógeno, aminoácidos y bases nitrogenadas.

La fotosíntesis es un proceso biológico fundamental para la vida en nuestro planeta. Las plantas verdes mediante la fotosíntesis **elaboran compuestos orgánicos** (carbohidratos, lípidos y proteínas) y **liberan oxígeno a la atmósfera**. Los compuestos orgánicos son la base de la alimentación de todos los animales incluyendo al ser humano. Mientras que el oxígeno liberado es el elemento indispensable que utilizan todos los seres vivos (con excepción de algunas bacterias anaerobias) en la respiración celular, proceso indispensable para obtener la energía necesaria para realizar todas sus funciones.

Ciclo celular: división y muerte de las células

En el curso de su vida, la mayoría de las células eucariotas pasan por una secuencia regular y repetitiva de crecimiento y división conocida como el **ciclo celular**. Las células se reproducen mediante un proceso conocido como "división celular", en el cual su material genético (ADN) se reparte entre dos nuevas células hijas.

En los organismos unicelulares, por este mecanismo aumenta la cantidad de individuos en la población (figura 3.45). En los organismos multicelulares, la división celular es el procedimiento por el cual el organismo crece, partiendo de una sola célula, y los tejidos dañados son reemplazados y reparados, además se restituyen las células que mueren. Por ejemplo, normalmente en el cuerpo humano mueren unos 50 millones de células por segundo y se produce una misma cantidad para sustituir a las que murieron. Una célula individual crece asimilando sustancias de su ambiente y transformándolas en nuevas moléculas estructurales y funcionales. Cuando una célula alcanza cierto tamaño crítico y cierto estado metabólico, se divide; las dos células hijas comienzan entonces a crecer.

Las nuevas células hijas son casi idénticas entre sí, como lo son a su progenitora. Son similares, en parte, porque cada nueva célula recibe aproximadamente la mitad del contenido del citoplasma, incluidos los organelos, de la célula materna. Pero la razón más importante de esta similitud, a nivel de estructura y función, es que cada nueva célula hereda un duplicado exacto de la información genética de la célula materna.



Figura 3.45 Micrografía electrónica de barrido que nos muestra a un protozoario ciliado concluyendo su proceso de división celular. Observa que la separación de las dos células hijas casi se ha completado.

En el desarrollo y mantenimiento de la estructura de los organismos pluricelulares, no sólo se necesita de la división celular, que aumenta el número de células somáticas (del cuerpo), sino también de un proceso de muerte celular programada conocido como **apoptosis**. La división y la muerte celular ocurren de un modo coordinado y, de esta manera, se mantiene la forma del organismo.

El ciclo celular

El **ciclo celular** es una serie de sucesos que experimentan las células mientras crecen y se dividen. Durante el ciclo celular, la célula crece, se prepara para la división, se divide para formar dos células hijas y, luego, cada una de ellas vuelve a iniciar el ciclo celular.

El ciclo celular consta de cuatro fases G_1, S, G_2 y M. Las primeras tres fases del ciclo se conocen colectivamente como **interfase**. Durante la fase M ocurren la **mitosis** y **citocinesis**.

Veamos que sucesos ocurren en cada una de las fases.

- Fase G_1. La célula crece casi a su maximo y sintetiza las proteínas y organelos nuevos.
- Fase S. A la fase G_1 le sigue la fase S o de síntesis. En esta fase el ADN de la célula se replica para dar origen a los cromosomas dobles. La célula al final de esta fase contiene el doble de ADN de lo que tenia al principio.
- Fase G_2. Durante esta fase se producen muchos de los organelos y las moléculas necesarias para la división celular.
- Fase M o de división celular. Esta fase produce dos células hijas y ocurre en dos etapas: mitosis y citocinesis. Se le nombra fase M por el proceso de mitosis. Durante la mitosis los cromosomas duplicados son distribuidos en partes iguales entre los dos núcleos hijos. A esta primera etapa le sigue la citocinesis o división del citoplasma separando a la célula madre en dos células hijas.

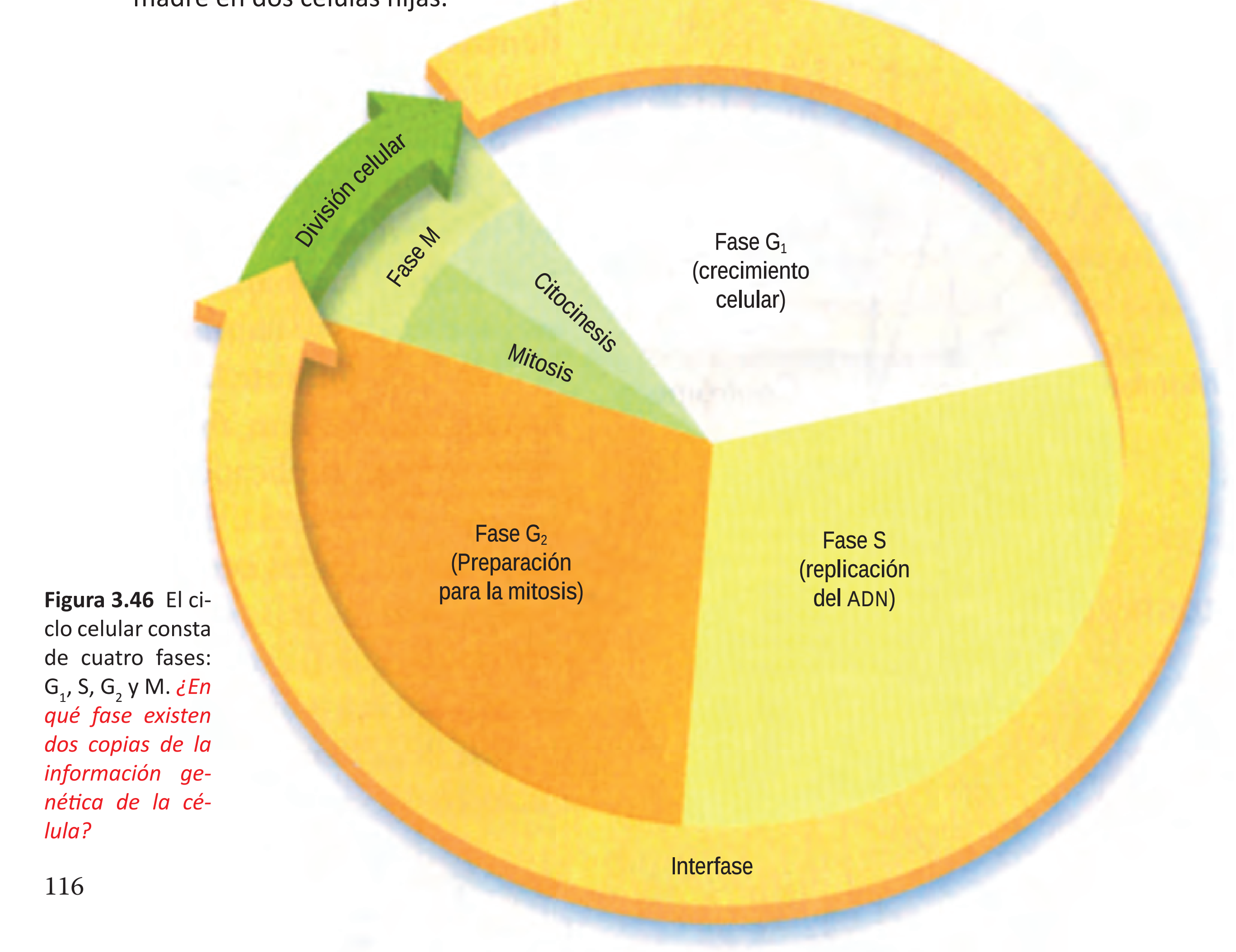


Figura 3.46 El ciclo celular consta de cuatro fases: G_1, S, G_2 y M. *¿En qué fase existen dos copias de la información genética de la célula?*

Haploidía y diploidía

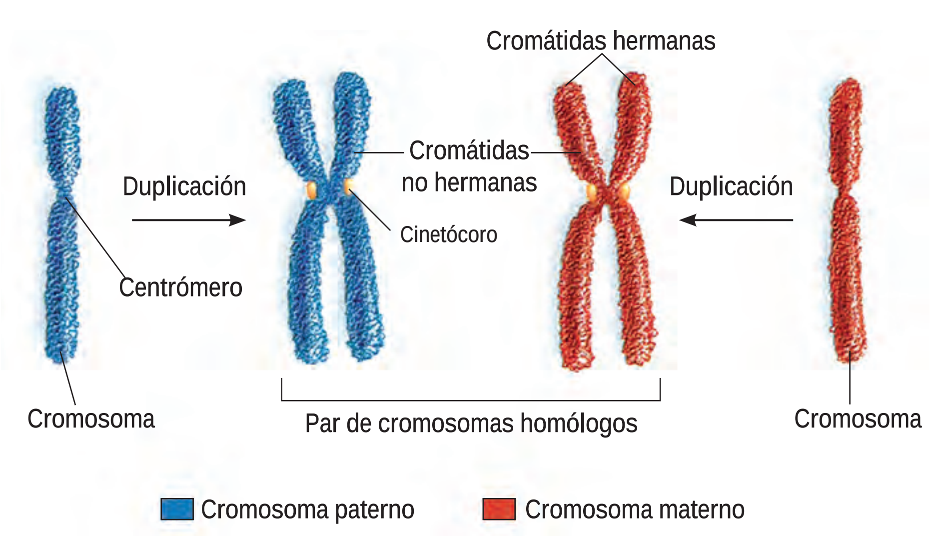


Figura 3.47 Cromosomas homólogos. Las cromátidas hermanas contienen los mismos genes.

Para comprender mejor los procesos de mitosis y de meiosis, revisemos algunos conceptos básicos relacionados con el número de cromosomas.

Cada organismo está formado por células que contienen un número de cromosomas característico de la especie a la cual pertenece. Por ejemplo, el ser humano tiene 46 cromosomas por célula, el gato 38, el sapo 22, el tomate 24, la cebolla 16 y el mosquito 6. En cambio, las células sexuales o gametos tienen exactamente la mitad de la cantidad de cromosomas característicos de las células del cuerpo (somáticas) del organismo. La cantidad de cromosomas de los gametos se conoce como **número haploide** ("simple") y la cantidad de cromosomas de las células somáticas como **número diploide** ("doble"). El número haploide se representa por **n** y el diploide por **2n**. En los seres humanos, por ejemplo, n =23 y 2n = 46. En los animales, los gametos son, en la hembra, el óvulo; y en el macho, el espermatozoide. Cuando un espermatozoide fecunda a un óvulo, los dos núcleos haploides se fusionan, n + n = 2n, y el número diploide se restablece. La célula diploide producida mediante fusión de dos gametos se conoce como **cigoto**.

En las células diploides, cada cromosoma tiene un compañero, estos pares de cromosomas se conocen como **cromosomas homólogos** y cada uno de ellos proviene de un progenitor. Las células humanas tienen 46 cromosomas ó 23 pares. Un cromosoma de cada par es de origen paterno y el otro de origen materno. Cada par de cromosomas homólogos se parecen en tamaño, forma y en el tipo de información hereditaria que contienen.

Tabla 3.2 Número de cromosomas característico de algunas especies de vegetales y de animales

Vegetales	Cromosomas	Animales	Cromosomas
Pepino	14	Mosca casera	12
Papaya	18	Rana	26
Maíz	20	Cerdo	40
Café	44	Gorila	48
Tabaco	48	Oveja	54
Caña de azúcar	80	Caballo	66

Mitosis

La función de la mitosis es distribuir los cromosomas duplicados de modo tal que cada nueva célula obtenga un complemento o dotación completa, o sea, un cromosoma de cada tipo. Recuerda que los cromosomas se duplican durante la fase S de la interfase. Por lo tanto, cuando se inicia la mitosis, cada cromosoma está constituido por dos cromátidas hermanas unidas por el centrómero.

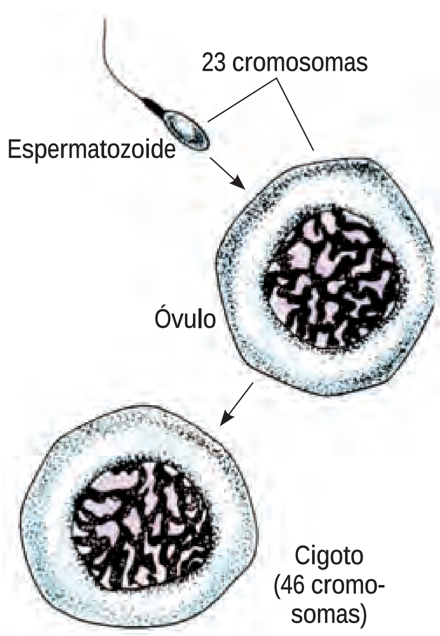


Figura 3.48 Durante la fecundación, el óvulo y el espermatozoide, células con 23 cromosomas cada una se fusionan originando un cigoto con 46 cromosomas.

Fases de la mitosis

La mitosis es un proceso continuo, pero para facilitar su estudio se divide en cuatro fases: **profase**, **metafase**, **anafase** y **telofase**. Cada fase da lugar a la siguiente; de las cuatro fases, la de mayor duración es la profase. Por ejemplo, si una división mitótica dura 10 minutos, la profase requiere 6 minutos.

Al estudiarse cada una de las fases, se harán notar las diferencias entre las células animales y vegetales. Es muy conveniente que al estudiar cada una de las fases observes la figura que se presentan de cada una de ellas.

Profase (del griego pro: antes de)

Durante la profase, la cromatina se condensa y los cromosomas duplicados se hacen visibles. Fuera del núcleo se empieza a formar un huso.

El primer signo evidente que señala el comienzo de la profase es la condensación de los hilos largos de cromatina. La cromatina se condensa mediante un proceso de enrollamiento o plegamiento del ADN que la constituye. A medida que avanza este proceso, los hilos largos de cromatina se hacen más cortos y gruesos constituyendo los cromosomas. Cada cromosoma está constituido por dos cromátidas hermanas, unidas por una región constreñida llamada **centrómero**. Dentro del centrómero se encuentran dos estructuras proteicas llamadas cinetocoros; cada cromátida posee un cinetocoro; estos últimos desempeñan un importante papel en la fijación de los cromosomas a las fibras del huso; los cromosomas dobles resultan de la duplicación del ADN durante la interfase. Los cromosomas hacen posible la separación exacta del ADN durante la división celular.

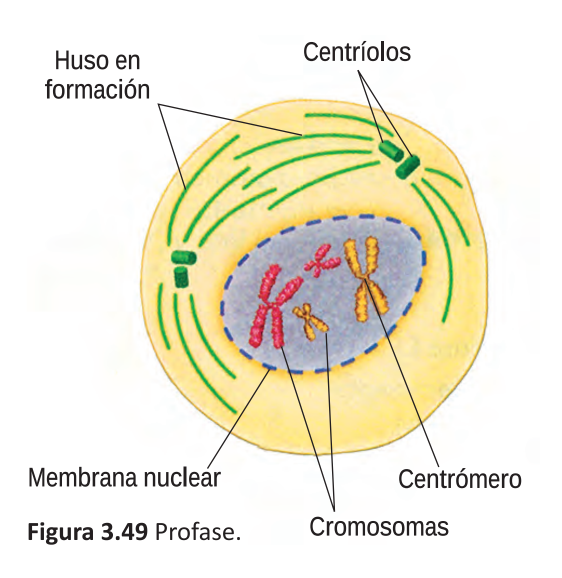


Figura 3.49 Profase.

Otro cambio que ocurre dentro del núcleo es que los nucléolos se desintegran y desaparecen al disper-

sarse sus componentes en el nucleoplasma. Al final de la profase, cuando desaparece la membrana nuclear, el material del nucléolo es liberado en el citoplasma. Mientras estos procesos suceden en el núcleo, en el citoplasma aparece una estructura llamada **huso mitótico**, constituido por microtúbulos. El huso mitótico tiene la forma de un balón de fútbol americano, cuyos extremos se llaman **polos** y el centro **ecuador** o **placa ecuatorial**. En las células animales, los centríolos controlan la formación del huso. Los dos pares de centríolos se localizan a un lado del núcleo. Cada par de centríolos se halla rodeado por el **áster**, un conjunto de microtúbulos en forma de estrella. Ambos pares de centríolos, junto con los ásteres, se separan formándose entre ellos, a medida que se alejan, las fibras del huso, consistentes en microtúbulos. Cuando el huso está formado la membrana nuclear se desintegra, quedando los fragmentos dispersos en el citoplasma. El rompimiento de la membrana nuclear permite que el huso entero se desplace y ocupe el espacio del núcleo.

Por último, cada cromátida hermana se une mediante su cinetocoro a alguna de las fibras del huso. La función de estas fibras es controlar el movimiento de los cromosomas y asi ayudar a separarlos.

En las células vegetales, a pesar de que no tienen centríolos de todos modos se forma el huso mitótico, aunque este carece de ásteres.

Metafase (del griego meta: entre)

Durante la metafase, los cromosomas se alinean en el ecuador del huso.

En esta fase, cada cromosoma se alinea en el ecuador (medio) del huso, orientados de tal manera que los cinetocoros de cada par de cromátidas hermanas se colocan opuestos a los polos de la célula. En este momento, todo está listo para la separación de las cromátidas hermanas y su migración a los polos opuestos.

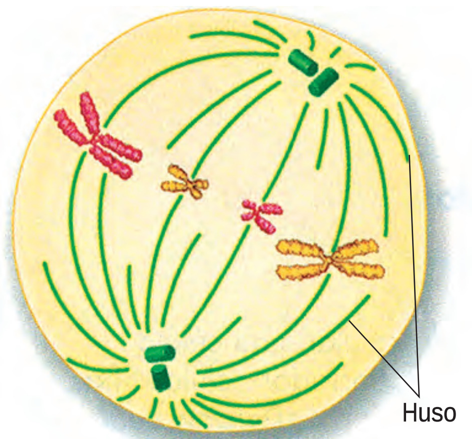


Figura 3.50 Metafase.

Anafase (del griego ana: atrás)

Durante la anafase, las cromátidas hermanas se separan y son llevadas a polos opuestos de la célula.

Al inicio de la anafase, el centrómero de cada cromosoma se divide y las cromátidas hermanas se separan desplazándose hacia los polos opuestos del huso; a estos cromosomas sencillos, de una sola cromátida, se les llama **cromosomas hijos**. Su movimiento hacia los polos se debe a que son jalados por las fibras del huso adheridas a su cinetocoro. Cada cromosoma adquiere la forma de V. Esta fase es la más rápida.

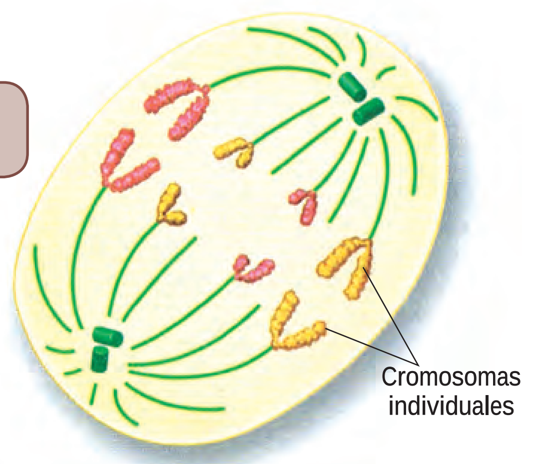


Figura 3.51 Anafase.

Telofase (del griego telo: fin)

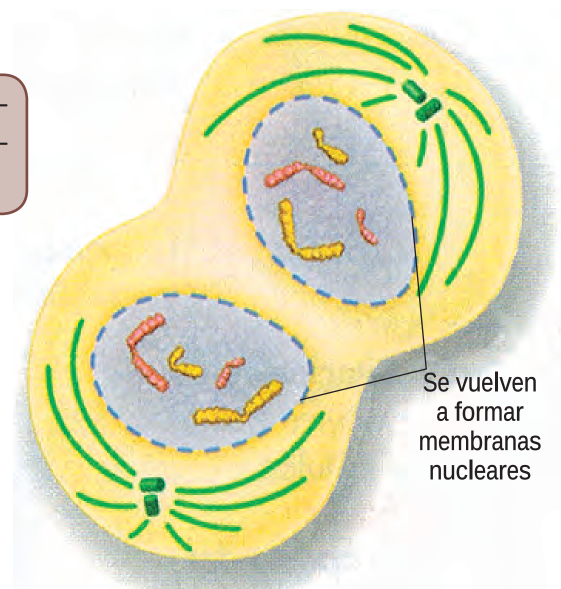


Figura 3.52 Telofase.

Durante la telofase, se forma una membrana nuclear alrededor de cada grupo de cromosomas hijos.

La telofase es la fase final de la mitosis y se inicia cuando los cromosomas han llegado a sus respectivos polos. Durante esta fase, los cromosomas comienzan a desenrollarse, hasta que son otra vez hebras delgadas de cromatina; el huso mitótico se desintegra. Los fragmentos de membrana nuclear de la célula madre que se desintegró durante la profase, se unen alrededor de cada conjunto de cromatina formándose dos núcleos nuevos; en cada núcleo reaparecen los nucléolos.

Citocinesis

En casi todas las células, durante la telofase ocurre la **citocinesis** o división del citoplasma. Durante la citocinesis, el citoplasma se parte en dos células hijas recibiendo cada célula uno de los núcleos recientemente formados y cantidades casi iguales de citoplasma. En las células animales, el citoplasma se constriñe en la región ecuatorial (centro) de la célula. Esta constricción se acentúa y profundiza hasta que la célula se divide. Esto es causado por un anillo de microfilamentos que se forma alrededor del ecuador de la célula; el anillo de microfilamentos se contrae hasta que la célula se divide.

En las células vegetales, la citocinesis es muy diferente ya que se forma en la región ecuatorial de la célula una estructura llamada “placa celular”, que se origina al fusionarse una serie de vesículas llenas de carbohidratos, provenientes del aparato de Golgi.

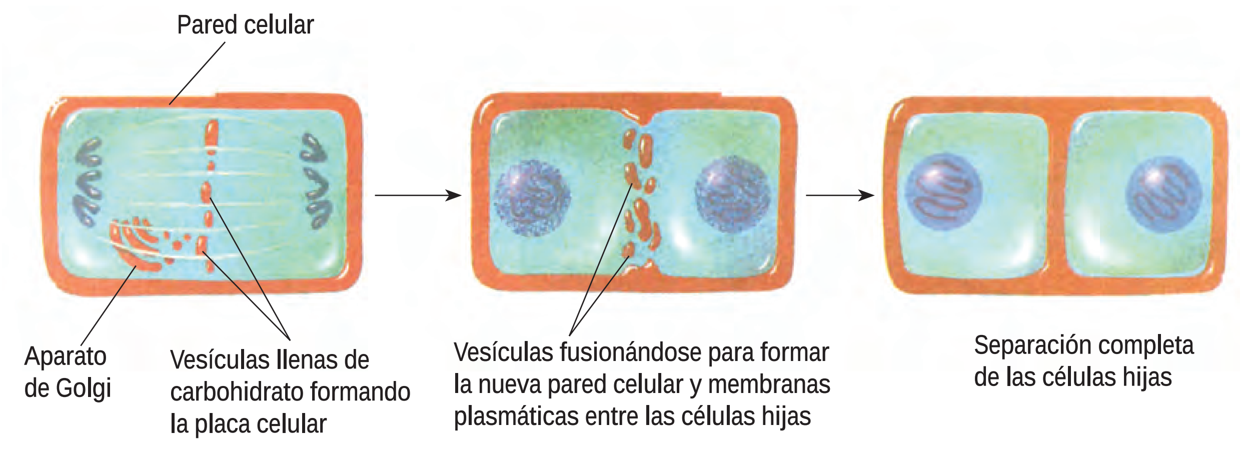


Figura 3.53 Citocinesis en células de plantas.

Al terminar la mitosis se han formado dos células hijas, las cuales son idénticas tanto en su contenido genético como en su contenido de citoplasma. Son genéticamente idénticas ya que cada una recibió una copia exacta de los cromosomas de la célula madre. Las dos células hijas resultantes entran en interfase para después volver a dividirse.

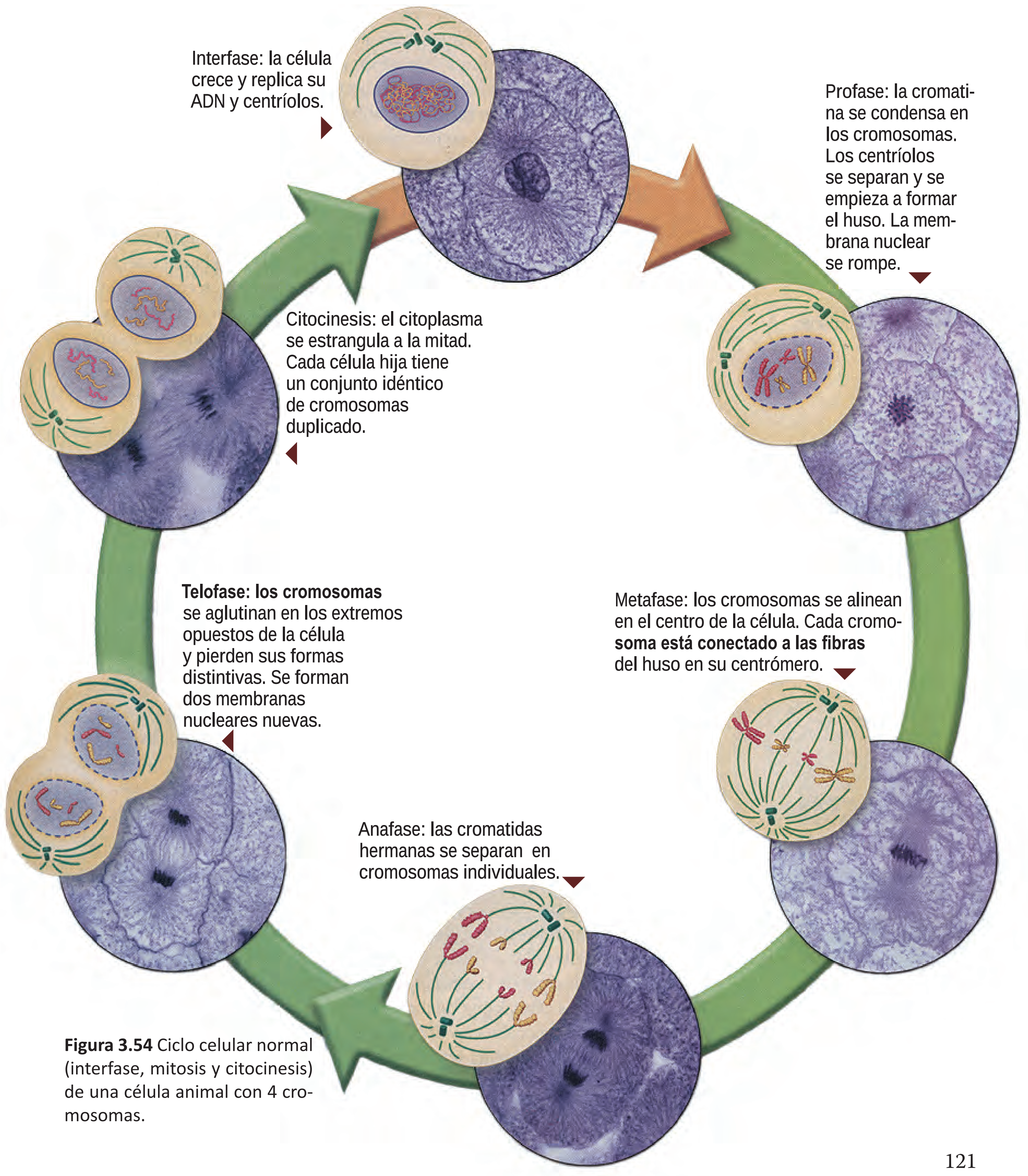


Figura 3.54 Ciclo celular normal (interfase, mitosis y citocinesis) de una célula animal con 4 cromosomas.

Apoptosis

En la formación de un organismo pluricelular, la **muerte celular** o **apoptosis** es tan importante como la división celular. En los vertebrados, por medio de la apoptosis se regula el número de neuronas durante el desarrollo del sistema nervioso, se eliminan linfocitos que no funcionan correctamente y se moldean las formas de un órgano en desarrollo eliminando células específicas. Por ejemplo, las células de la cola de los renacuajos se elimina por este proceso durante la metamorfosis. En los embriones humanos, las células que forman las membranas interdigitales se eliminan por apoptosis en cierto momento del desarrollo.

La mayoría de las células fabrican las proteínas que forman parte de una maquinaria para su propia destrucción. Las células que entran en apoptosis se encogen y se separan de sus vecinas; se dividen en numerosas vesículas, las cuales serán engullidas por células vecinas.

Meiosis

La inmensa mayoría de los organismos eucariotas -como las moscas, los chapulines, las estrellas de mar, los peces, los girasoles y los seres humanos- se reproducen sexualmente. La reproducción sexual requiere, en general, de dos progenitores y siempre implica dos hechos: la **meiosis** y la **fecundación**.

La meiosis es un tipo especial de división nuclear y celular, en la cual una célula diploide se divide dos veces para producir cuatro células haploides. El término meiosis proviene de una palabra griega que significa “disminuir”, y eso es exactamente lo que hace la meiosis: disminuye el número de cromosomas a la mitad. Cada célula hija contiene solamente la mitad del número de cromosomas de la célula madre.

En los organismos multicelulares, la meiosis sólo se realiza en las células germinales de los órganos reproductores. En los animales, las células haploides que resultan de la meiosis son los gametos –óvulos y espermatozoides– y en las plantas con flores son los óvulos y granos de polen. En algunas plantas como los helechos y en muchos hongos, las células haploides son esporas.

La **fecundación** (o fertilización) es la unión de células haploides para formar el cigoto, restableciéndose en este último el número diploide (2n).

La meiosis es muy importante ya que mantiene constante el número normal de cromosomas de cada especie. Los citólogos predijeron la existencia de la meiosis antes de que fuese observada, ya que sin ella la fecundación duplicaría el número de cromosomas en cada generación sucesiva.

Fases de la meiosis

La meiosis consiste en dos divisiones nucleares sucesivas, llamadas **meiosis I** y **meiosis II**. Cada una de ellas comprende las cuatro fases de la mitosis: **profase**, **metafase**, **anafase** y **telofase**.

A continuación, se describirá la meiosis en una célula animal cuyo número diploide es 4. Las cuatro células hijas que se producen son células haploides ya que cada una de ellas contiene sólo 2 cromosomas. De los 4 cromosomas, 2 fueron heredados de un progenitor y los otros 2 del otro. Por cada cromosoma de un progenitor hay un cromosoma homólogo proveniente del otro progenitor.

Durante la interfase, los cromosomas se replican, de modo que para el comienzo de la meiosis I cada cromosoma consiste en dos cromátidas hermanas idénticas unidas entre sí a nivel del centrómero. Este proceso se describe en la figura 3.56.

Meiosis I

Profase I

> Durante la profase I, los cromosomas homólogos se aparean e intercambian ADN.

Las hebras de cromatina se acortan y engrosan haciéndose visibles como cromosomas. Cada cromosoma consta de dos cromátidas idénticas unidas a nivel del centrómero. Cada cromosoma se une a su homólogo formando pares; cada par de cromosomas homólogos tiene cuatro cromátidas, por lo que al conjunto se le denomina **tétrada**.

Las cromátidas de una tétrada frecuentemente se entrelazan formando cruces o puntos de unión llamados **quiasmas**. Es en los quiasmas donde las cromátidas intercambian entre ellas segmentos de ADN, proceso que se conoce como **entrecruzamiento**. En los puntos donde hay entrecruzamiento, un fragmento de cromátida de un homólogo se rompe y se intercambia por un fragmento de cromátida del otro homólogo. Por lo que las cromátidas hermanas de cada cromosoma homólogo dejan de ser genéticamente idénticas. El entrecuzamiento es un mecanismo crucial para el proceso evolutivo. Observa la figura 3.55. También durante la profase desaparece la membrana nuclear y el nucléolo y se forma el huso mitótico.

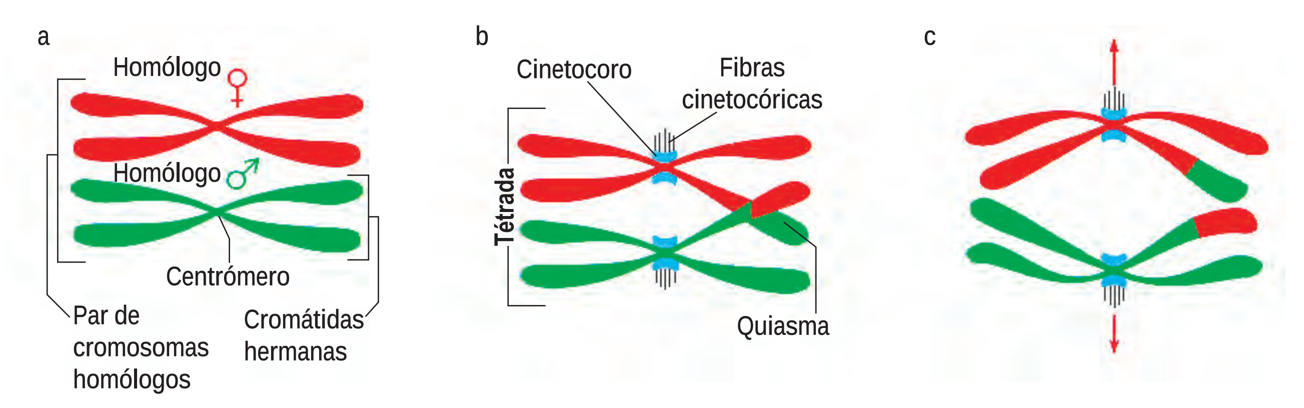


Figura 3.55 a) Par de cromosomas homólogos. b) Tétrada, en la cual se observan los quiasmas, que son los sitios de intercambio de ADN, c) luego, los cromosomas se separan. Las cromátidas hermanas de cada homólogo ya no son completamente indénticas.

Metafase I

Las tétradas se alinean a lo largo del ecuador de la célula.

Anafase I

Esta fase comienza cuando los cromosomas homólogos de la tétrada se separan y se dirigen hacia polos opuestos.

Telofase I

Esta fase se inicia cuando los cromosomas homólogos llegan a sus respectivos polos. Los eventos que suceden son los siguientes: desaparece el huso, se forman las membranas nucleares alrededor de cada conjunto de cromosomas y se lleva a cabo la citocinesis o división del citoplasma. El resultado es que se forman dos células hijas, donde cada una tiene un miembro de cada par de cromosomas homólogos.

Por lo general, a la meiosis I le sigue de manera inmediata la meiosis II, con poca o ninguna interfase.

Meiosis II

Las fases de la meiosis II son muy parecidas a la de la mitosis y ocurren en las dos células formadas en la meiosis I.

Profase II

El huso se vuelve a formar y la membrana nuclear y el nucléolo se desintegran. Cada cromosoma está constituido por dos cromátidas unidas por un centrómero.

Metafase II

Los cromosomas se alinean en el ecuador de la célula.

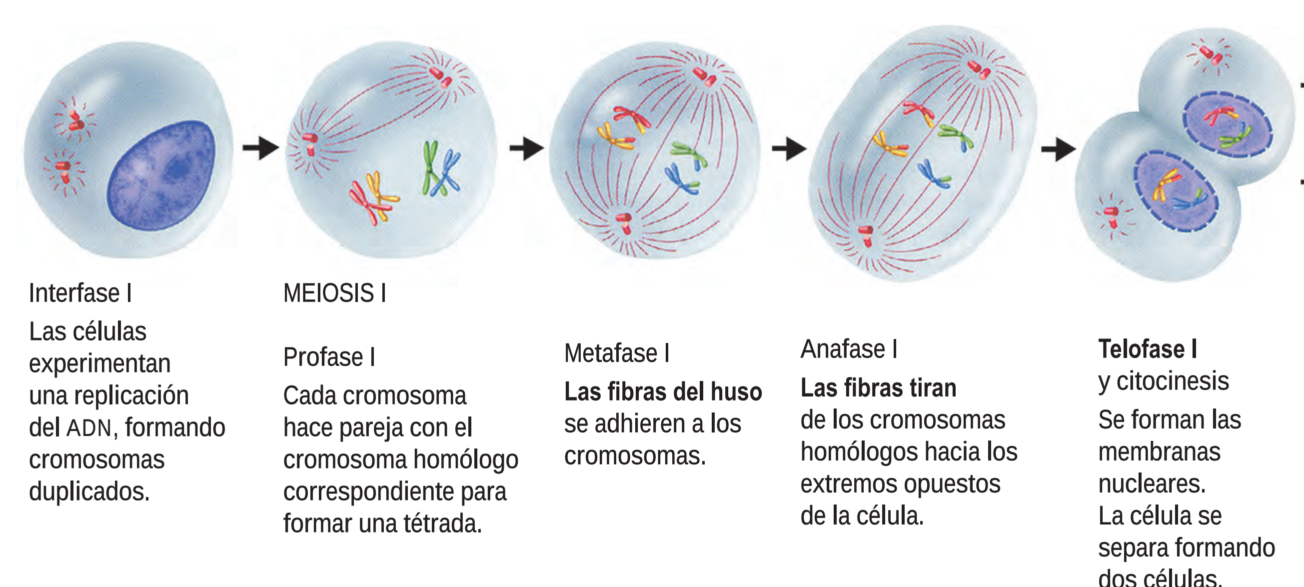


Figura 3.56 Meiosis en una célula animal con número diploide de 4, es decir con 4 cromosomas.

Anafase II

Las cromátidas de cada cromosoma se separan y se mueven hacia los polos opuestos de la célula.

Telofase II

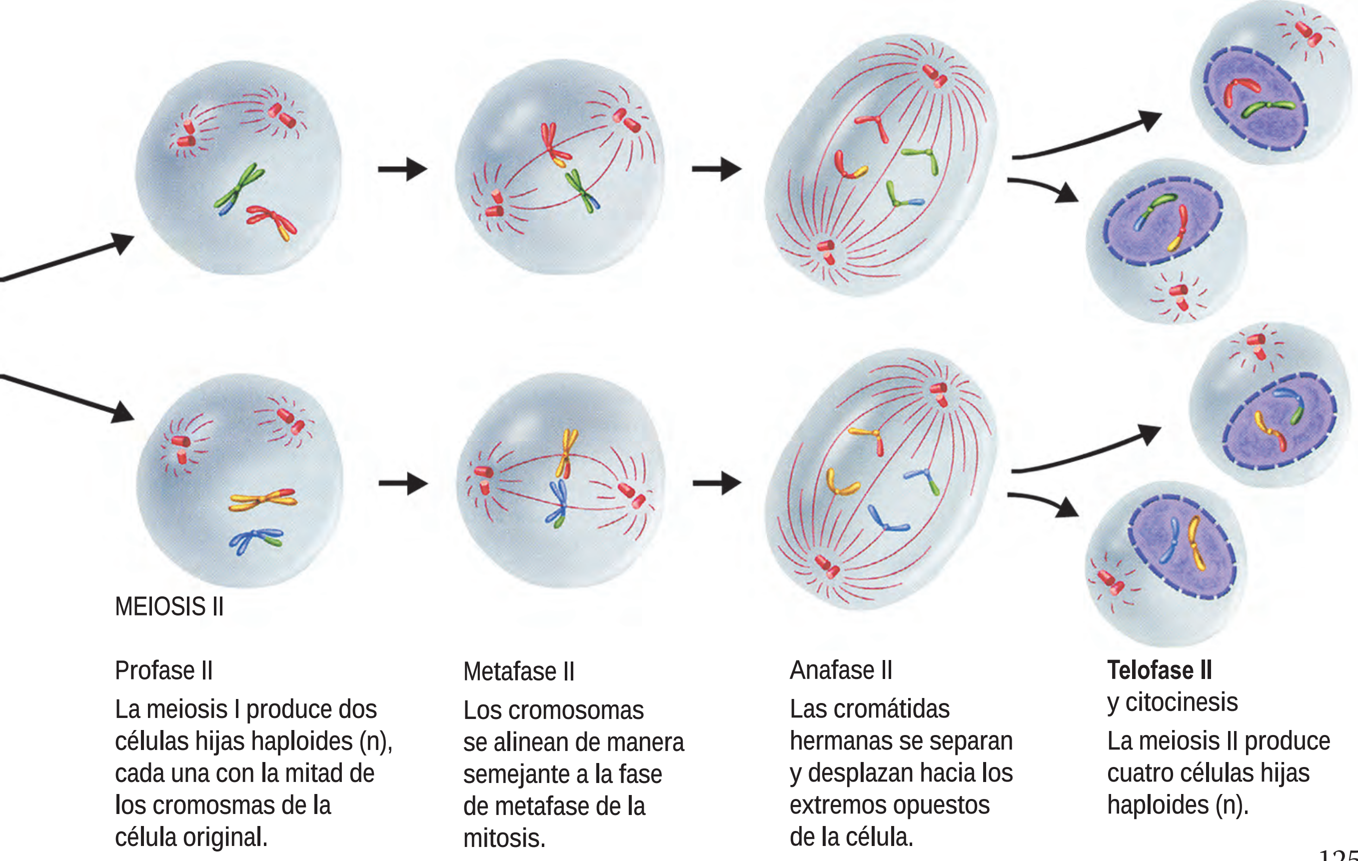
Los husos desaparecen y se forma una membrana nuclear alrededor de cada juego de cromosomas. La citocinesis se lleva a cabo formándose un total de cuatro células haploides.

Cada una de las células haploides producidas por meiosis contiene un complemento único de cromosomas, debido al entrecruzamiento y a la segregación al azar de los cromosomas. De esta manera, la meiosis es una fuente de variabilidad en la descendencia.

Diferencias entre mitosis y meiosis

Los acontecimientos que tienen lugar durante la meiosis se asemejan a los de la mitosis, pero una comparación de los dos procesos muestra un buen número de diferencias importantes (tabla 3.3).

Durante la profase I de la meiosis, se produce el apareamiento de los cromosomas homólogos seguido del alineamiento de los pares de homólogos en el plano ecuatorial en la metafase I, y de la separación de los homólogos, en la anafase I. Estos sucesos, que no se producen durante la mitosis, son la clave de la reducción del número cromosómico.



Durante la meiosis, cada núcleo diploide se divide dos veces, produciendo un total de cuatro núcleos. Sin embargo, los cromosomas se duplican sólo una vez, antes de la primera división nuclear. Por lo tanto, cada uno de los cuatro núcleos producidos contiene la mitad del número de cromosomas presentes en el núcleo original. Mientras que en la mitosis, luego de la duplicación de los cromosomas, cada núcleo se divide sólo una vez. En consecuencia, el número de cromosomas se mantiene invariable. Debido al fenómeno del entrecruzamiento y al de segregación al azar de los cromosomas, durante la meiosis se recombina el material genético de los progenitores, lo que no ocurre en la mitosis.

La mitosis puede ocurrir en células haploides o diploides, mientras que la meiosis ocurre solamente en células con un número diploide (o poliploide) de cromosomas.

Tabla 3.3 Comparación de mitosis y meiosis

	Mitosis	**Meiosis**
Ocurre en	Todas la células del cuerpo	Algunos tipos de células de órganos reproductivos
No. de células producidas por célula progenitora	Dos	Cuatro (tres pueden morir)
No. de cromosomas de célula progenitora	Diploide (2n) o Haploide (n)	Diploide (2n)
No. de cromosomas de células hijas	El mismo que en la célula progenitora	Haploide (n)
Tipo de célula producida	Varias células, tales como las de la piel y músculos	Gametos animales o algunos tipos de esporas
Función	Continuidad genética de célula a célula	Continuidad genética entre generaciones; promueve la variación.

La meiosis en la especie humana

En todos los vertebrados, incluyendo la especie humana, la meiosis tiene lugar en los **órganos reproductores**, los **testículos** del macho y los **ovarios** de la hembra. En el macho, las células diploides que experimentan la meiosis son los espermatocitos primarios, cada uno de los cuales produce cuatro espermátidas haploides, que se transforman en aproximadamente 74 días en espermatozoides.

En las hembras, las células diploides que sufren la división meiótica se llaman ovocitos primarios. Estas células también producen cuatro células haploides, pero el citoplasma se distribuye de manera desigual durante la citocinesis, tanto en la meiosis I como en la meiosis II. De cada ovocito sólo se forma un óvulo (o célula huevo) que se queda con la mayor parte del citoplasma y tres cuerpos polares los cuales se desintegran.

Mitosis para el mantenimiento del organismo

Mitosis para el mantenimiento del organismo

Meiosis en el ovario para producir óvulos

Meiosis en el testículo para producir espermatozoides

Óvulo

Espermatozoide

Óvulo fecundado

Mitosis para formar estructuras corporales y crecer

Embrión

Bebé

Mitosis para crecer

Adulto

Figura 3.57 División celular mitótica y meiótica en los seres humanos. Observa la importancia que tienen estos dos procesos de división celular en la reproducción, crecimiento y mantenimiento del ser humano.

Autoevaluación

Repaso de la unidad

Contesta las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles son los puntos principales de la teoría celular?

 ____

2. ¿Cómo ayudó la invención del microscopio a los científicos a conocer el mundo natural?

 ____

3. ¿Cuál es la diferencia entre magnificación y resolución?

 ____

4. ¿Cuáles son algunas de las ventajas y desventajas de los microscopios óptico y electrónico?

 ____

5. ¿Qué organelos son comunes en células vegetales y animales, y cuáles son únicos en cada una de ellas?

 ____

 ____

6. Las membranas separan a la célula de su ambiente, pero no son barreras infranqueables, ¿por qué es importante esto?

 ____

7. ¿En qué se parecen la difusión facilitada y el transporte activo? ¿En qué son diferentes?

 ____

8. ¿Cuáles son las semejanzas y diferencias entre cromatina y cromosomas?

 ____

9. ¿Cuál es la función de las mitocondrias?

 ____

10. Describe la importancia del ATP para los seres vivos.

 ____

11. Define en tus propias palabras que es la fotosíntesis.

 ____

Indica cual de las siguientes afirmaciones son verdaderas (v) o falsas (f).

12. Robert Brown descubrió el núcleo celular ( )
13. Los organelos celulares son las unidades estructurales y funcionales de los seres vivos ( )
14. Matthias Schleiden introdujo el término célula en 1667 ( )
15. Los lisosomas se desprenden del aparato de Golgi ( )
16. El tubo óptico es una pieza del microscopio compuesto, en su extremo superior tiene un lente llamado ocular ( )
17. En las mitocondrias se obtiene la energía que la célula requiere para realizar sus actividades ( )
18. El microscopio electrónico de barrido proporciona imágenes tridimensionales ( )
19. La cromatina es más larga que los cromosomas ( )
20. Las células de las plantas, de algas, de hongos y bacterias poseen pared celular, además de la membrana plasmática ( )
21. Los plasmodesmos son orificios diminutos que poseen las paredes celulares animales ( )

En la siguiente sopa de letras, localiza la respuesta de lo que se te pide:

22. Es la difusión de moléculas de agua a través de una membrana selectivamente permeable.
23. Retículo endoplásmico en el que se sintetizan y transportan lípidos.
24. Organelo celular en el que se efectúa la síntesis de proteínas.
25. Es la muerte celular programada.
26. En esta fase de la mitosis, los cromosomas se alinean en el ecuador del huso mitótico.
27. Son los sacos membranosos aplanados de los cloroplastos.
28. Son plástidos que almacenan almidón, proteínas y aceites.
29. Organelos que participan en la formación del huso mitótico durante la división celular.
30. División celular en la que se forman tétradas.
31. Tipo de células que se producen mediante la meiosis.

I	L	C	E	N	T	R	I	O	L	O	S
N	E	U	O	S	M	O	S	I	S	G	U
L	U	Y	M	U	J	B	U	K	L	U	A
I	C	T	I	L	A	C	O	I	D	E	S
S	O	E	B	E	N	U	M	L	I	M	A
O	P	M	E	T	A	F	A	S	E	P	M
A	L	E	N	E	B	I	R	U	N	S	E
H	A	P	L	O	I	D	E	S	U	M	I
V	S	A	R	X	C	V	M	K	R	L	O
C	T	A	R	I	B	O	S	O	M	A	S
A	O	V	M	R	Q	P	C	D	B	O	I
B	S	B	A	P	O	P	T	O	S	I	S

Completa los espacios en blanco de los siguientes enunciados:

32. La función de los ribosomas es sintetizar ____________________.

33. El _________________ es el centro de control de la célula. Consta de _________________,

    __________________ y __________________.

34. Los _______________ son organelos digestivos que contienen enzimas.

Aplicación de conceptos

35. Comenta qué le pasaría a una célula si la membrana fuera permeable a todas las moléculas.

    ____

36. ¿Por qué las moléculas solubles en lípidos, como las del alcohol, pasan rápidamente a través de las membranas?

    ____

37. Puede haber ósmosis entre los tejidos y las células muertas, pero el transporte activo puede ocurrir solamente en las células vivas. Explica por qué esto es así.

    ____

38. Si se tomara una muestra de tejido de las piernas de un corredor de maratón así como de una papa, ¿cuál se esperaría que tuviera una mayor densidad de mitocondrias? ¿por qué?

    ____

39. ¿De qué fuente obtienen las células la mayor parte de su energía?

    ____

40. ¿En qué forma pueden la fotosíntesis y la respiración considerarse como procesos complementarios?

    ____

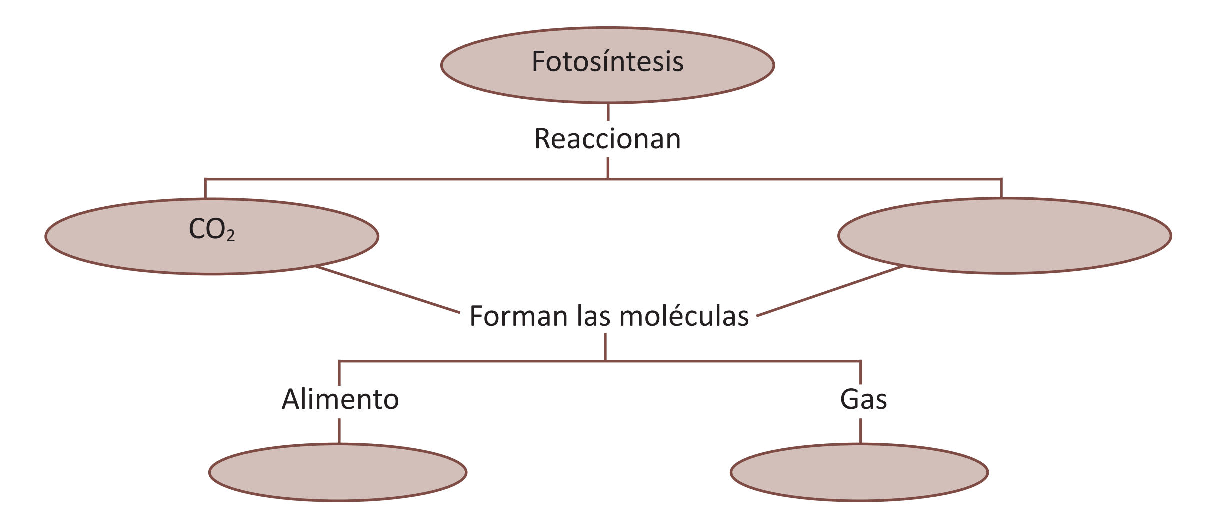
41. Predice qué le pasaría a la atmósfera terrestre si desaparecieran las plantas verdes. ¿Qué efecto tendría esto sobre la vida animal?

    ____

    ____

Elabora un modelo que represente las fases de la mitosis, utilizando diversos materiales tales como el unicel, plastilina, papel, etc.

Completa el siguiente mapa conceptual:



Rotula la siguiente figura:

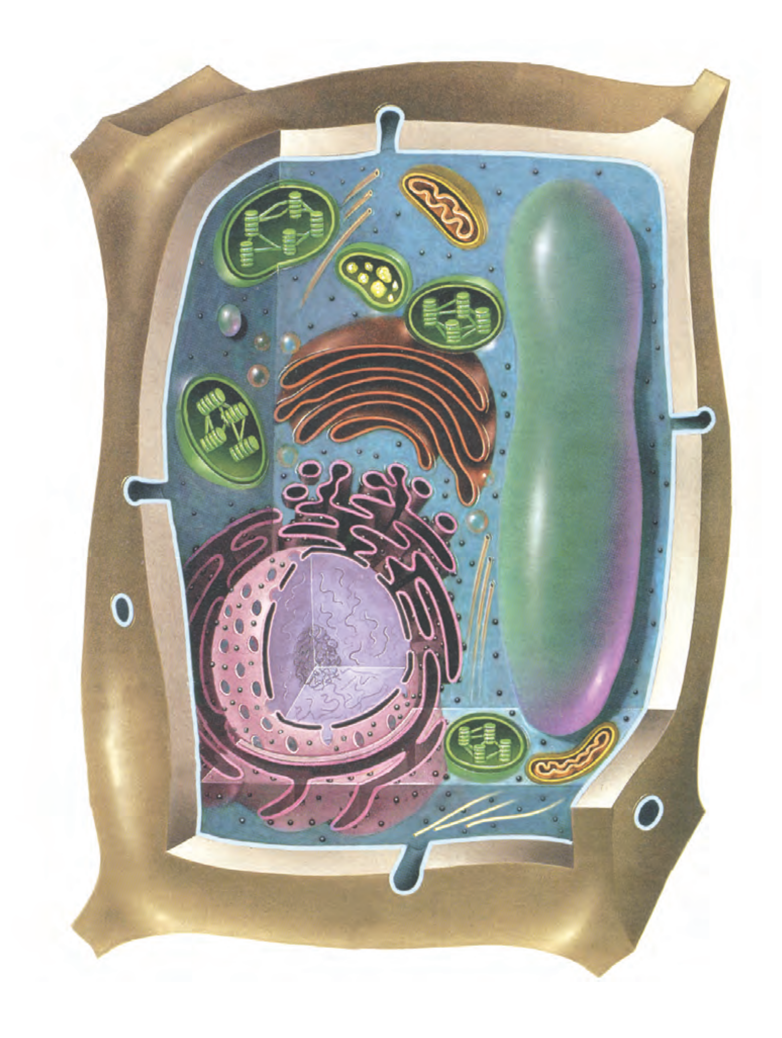




Imagen de un óvulo y espermatozoides humanos durante la fecundación tomada con microscopio electrónico de barrido.



UNIDAD 4

Genética: la ciencia de la herencia

Genética: la ciencia de la herencia

Introducción

Desde tiempos remotos, el ser humano observó que ciertas características en plantas y animales eran hereditarias, es decir, se transmiten de los progenitores a los descendientes. Este conocimiento empírico fue aprovechado por las primeras civilizaciones que seleccionaban aquellas plantas y animales que tenían las mejores características. Por ejemplo, los nativos de México y Centro América desarrollaron más de 300 variedades de maíz a partir de una planta silvestre llamada teosinte.

También, desde siempre, la humanidad ha observado que los niños se parecen a sus padres en características como los rasgos de la cara, color del cabello, color de ojos, complexión del cuerpo, etc. Esto explica que a través de los siglos los hombres de ciencia trataran de saber cómo se lleva a cabo esta transmisión de características de padres a hijos.

Una hipótesis que fue aceptada durante muchos años fue la de la mezcla de características que decía que las características de los padres se mezclaban en los hijos. Esta hipótesis era la idea que prevalecía hasta los tiempos de Mendel, pero todavía continuaba la duda de cómo era que estas características se transmitían de padres a hijos.

Fue hasta 1900, cuando se redescubrió el trabajo de Gregorio Mendel, que se empezó a aclarar el panorama en cuanto a la transmisión de las características hereditarias. La transmisión de las características de padres a hijos se conoce como **herencia**. La rama de la biología que estudia la herencia es la **genética**. Muchos de los grandes descubrimientos científicos del siglo XX se realizaron en el campo de la genética, que en la actualidad es una de las áreas más activas de la investigación científica.

Gregorio Mendel, padre de la genética

La genética inició en 1865 con la publicación de las investigaciones científicas de un monje austríaco llamado **Gregorio Mendel**. Las bases de la genética moderna fueron construídas por Mendel, quien usó plantas de chícharo para estudiar cómo las características se pasaban de una generación a otra. Es de aclarar que antes de Mendel ya se había estudiado la herencia en las plantas, pero nadie fue capaz de explicar cómo eran heredadas las características de las plantas progenitoras a sus descendientes.



Figura 4.1 Gregorio Mendel descubrió las leyes básicas de la herencia al realizar sus experimentos con las plantas de chícharos.

Mendel tenía la paciencia y los conocimientos que lo capacitaban para identificar los patrones de la herencia; tenía conocimientos de biología, matemáticas, probabilidad y física. En su estudio, Mendel se ocupó en dar por primera vez un enfoque matemático a sus experimentos. En aquel tiempo, los investigadores no se apegaban a un método científico de investigación. Mendel aplicó las matemáticas a sus observaciones de la herencia a sus experimentos con plantas de chícharo. Los resultados numéricos no apoyaban la hipótesis de la mezcla de características; la evidencia lo conducía a sugerir nuevas hipótesis para explicar la herencia. Sin embargo, a causa de que la mayoría de los biólogos de ese tiempo no tenían la suficiente preparación en matemáticas, la trascendencia e importancia del trabajo de Mendel no fue reconocida sino hasta 35 años después.

Investigaciones de Mendel

Mendel pacientemente experimentó con cruces de plantas de chícharos durante 8 años; cruzaba plantas con características diferentes, por ejemplo, de flores moradas con blancas; altas con enanas. A los descendientes les llamó "hibridos", y a sus experimentos "hibridaciones". Un **híbrido** es hijo de dos padres que difieren en una o más características. En 1865 Mendel, publicó los resultados de sus experimentos en la Revista Científica de la Sociedad de Historia Natural de Brün, con el título "Experimentos de Hibridación en Plantas," que consistía en un trabajo de 46 cuartillas donde se explicaba por primera vez los mecanismos básicos de la transmisicón de las características hereditarias de la mayoria de los seres vivos. Mendel tuvo éxito en sus experimentos de hibridación porque se basó en tres aspectos fundamentales en la investigación: 1) seleccionar el organismo adecuado para trabajar, 2) diseñar y realizar el experimento correctamente y 3) analizar la información de manera rigurosa.

Objetivos de Mendel

En realidad, Mendel no elaboró previamente una hipótesis acerca de la herencia, sencillamente se trataba de encontrar la forma en que las características eran transmitidas de padres a hijos, reuniendo datos de cruces de plantas durante varias generaciones. Al final de sus experimentos, Mendel desarrollaba hipótesis para explicar sus resultados.

Experimentos de Mendel

Mendel usó el chícharo de jardín en sus experimentos aprovechando ciertas características físicas de la planta que favorecían la posibilidad de estudiarlas. Por ejemplo, la estructura cerrada de la flor permite que la planta de chícharo se autopolinice en forma natural. La transferencia de polen dentro de la misma flor, o entre flores de la misma planta se llama **autopolinización**. El polen de

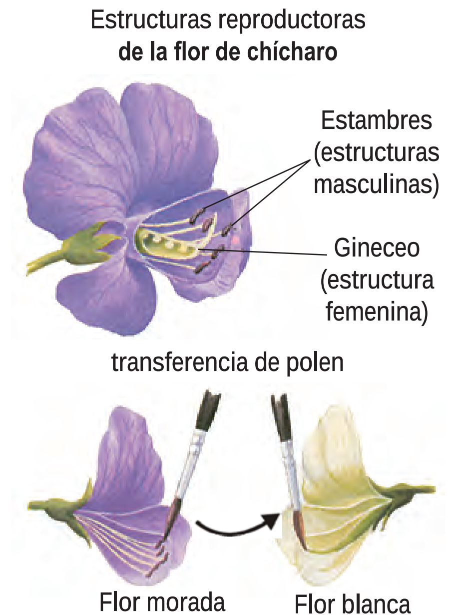


Figura 4.2 Mendel llevó a cabo la polinización cruzada entre dos variedades de plantas puras para una característica, transfiriendo manualmente polen de una planta al gineceo de la otra planta.

los estambres fertiliza los óvulos en el pistilo de la misma flor. Mendel entrecruzó manualmente las plantas poniendo el polen de una flor en otra planta diferente. En este caso, nos referimos a una **polinización cruzada**. Observa en la figura 4.2 la estructura de la flor del chícharo.

Uno de los aciertos en la investigación de Mendel fue la cuidadosa selección de características en las plantas del chícharo que el mismo había desarrollado como líneas puras. **Línea pura** es un grupo de organismos que produce progenie con una característica idéntica, generación tras generación. Por ejemplo, una variedad de chícharos que era pura para el color verde de la semilla, produciría únicamente chícharos con la semilla verde.

Las siete características que Mendel estudió en esas plantas eran contrastantes entre ellas. Observando la figura 4.3 se nota, por ejemplo, que la vaina del chícharo es amarilla o verde; no hay colores intermedios. Bajo las mismas circunstancias, se estudiaron las demás características, como plantas altas y enanas, forma lisa o rugosa de la semilla, forma inflada y contraída de la vaina, color morado o blanco de la flor y posición axial o terminal de la flor. Las semillas de la planta de chícharo son fáciles de obtener y se producen nuevas semillas en sólo 90 días. El corto ciclo reproductivo dio a Mendel rápidos resultados.

	Forma de la semila	Color de la semila	Color de la flor	Posición de la vaina	Color de la vaina	Forma de la vaina	Largo del tallo
Rasgo dominante	Lisa	Amarilla	Morada	Axial	Verde	Inflada	Alto
Rasgo recesivo	Rugosa	Verde	Blanca	Terminal	Amarilla	Contraída	Enano

Figura 4.3 Mendel estudio siete características en las plantas de chícharo, cada una de las cuales podría ser expresada sólo de dos maneras diferentes y contrastantes.

Tomemos como ejemplo el color de las flores para ilustrar cómo Mendel investigó acerca de la forma en que se transmitían los factores hereditarios. En sus experimentos, Mendel cruzó una variedad pura de flor de color morada con una planta de variedad pura de flor blanca. El le llamó a las plantas de línea pura **generación paterna** (P). Las plantas paternas produjeron una generación de plantas híbridas. Estas plantas descendientes fueron híbridos porque recibieron información genética de plantas con flor morado de un progenitor y para planta de flor blanca del otro progenitor. Mendel llamó a esta descendencia **primera generación filial** (F_1). Observa la fig. 4.4 y podrás reconocer las mismas características que encontró Mendel en la generación F_1.

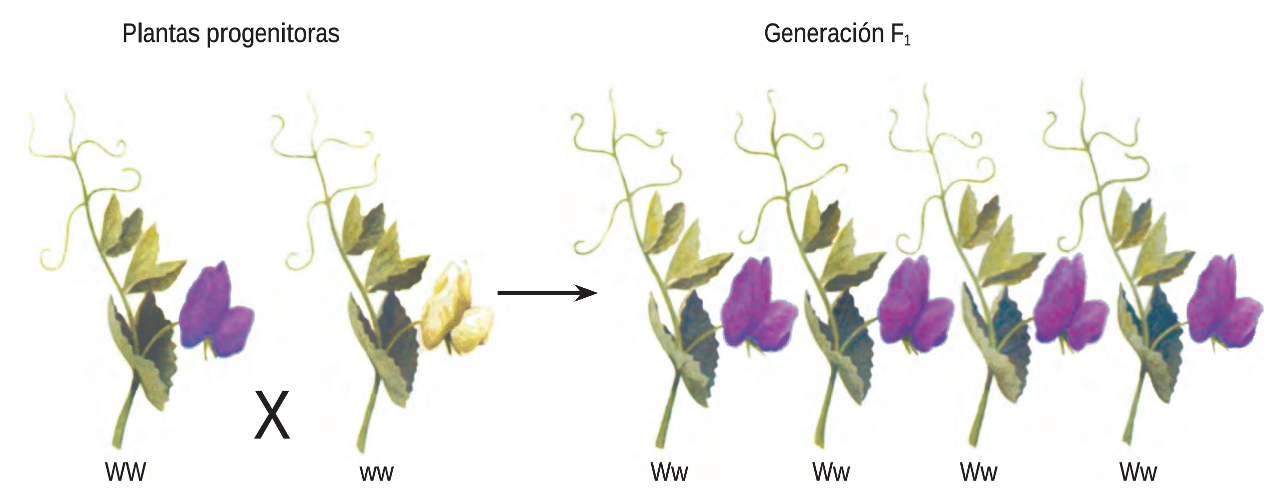


Figura 4.4 Mendel cruzó variedades puras de flor morada y flor blanca obteniendo como resultado una generación de híbridos todos con flores moradas. *¿Dónde quedó el color blanco?*

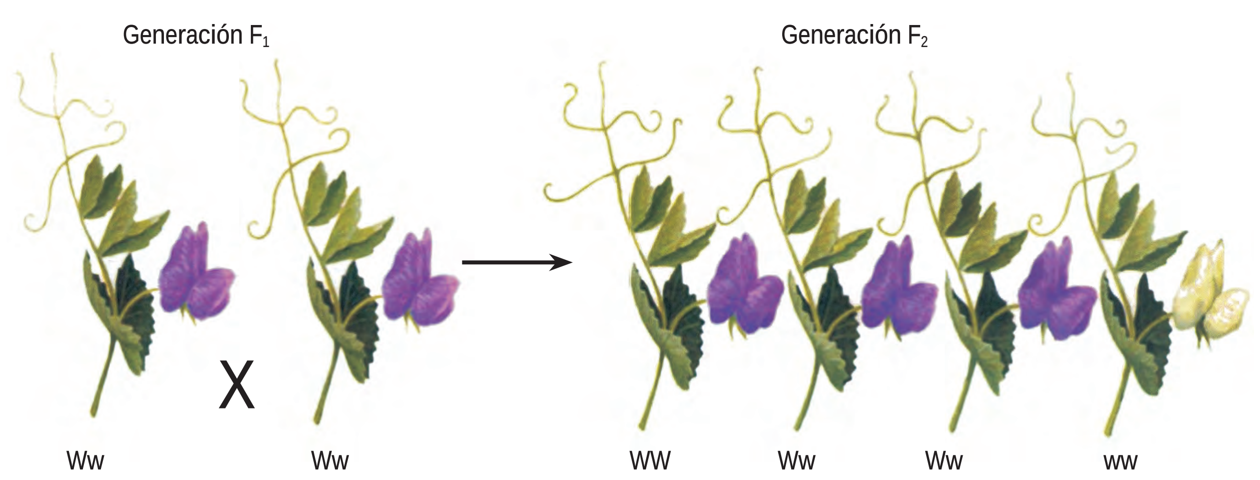


Figura 4.5 El cruce de individuos de la generación F_1 resultó en una proporción de una planta de flor blanca por cada tres plantas de flor morada.

Después, Mendel dejó que las plantas híbridas se autofertilizaran. A esta segunda generación de plantas se le llama **segunda generación filial** (F_2). Si observas la figura 4.5, ¿qué crees que observó Mendel acerca del color de las flores en la generación F_2?

Observaciones de Mendel

La hipótesis de la mezcla de la herencia predecía que las plantas híbridas F_1 deberían ser de flores rosas, sin embargo, Mendel encontró que todos los híbridos F_1 son de flores moradas. No había color intermedio ni blanco, aun cuando todas las plantas tenían un progenitor con flores blancas.

Cuando Mendel dejó que las plantas híbridas F_1 se autofertilizaran, encontró que la característica de flor blanca reaparecía. La generación F_2 consistió aproximadamente de 3/4 de plantas de flor morada y 1/4 de plantas de flor blanca. En otras palabras, de cada 3 plantas de flor morada había una planta de flor blanca, es decir, una proporción de 3 a 1. Mendel repitió su serie de experimentos con las otras seis características. En cada nuevo experimento, se encontró el mismo patrón de herencia en la descendencia. Para cada característica, la generación entera F_1 se pare-

cía sólo a una de las plantas paternas. El rasgo del otro padre no se mostraba. Mendel llamó a la característica que era mostrada en los híbridos F_1 **carácter dominante**. El rasgo que no se mostraba en los híbridos F_1 le llamó **carácter recesivo**. En el experimento del color de las flores, el color morado es dominante y el color blanco es recesivo. Para identificar los caracteres dominantes y recesivos en cada cruce estudiado por Mendel, revisa la figura. 4.6.

En la generación F_2, Mendel encontró que había los dos tipos de plantas. Alrededor de las 3/4 partes de las plantas F_2 mostraban el carácter dominante, y alrededor de 1/4 de las plantas F_2 mostraban el carácter recesivo. Evidentemente, el pensamiento antiguo acerca de la mezcla de características no se reflejaba en los resultados que obtuvo Mendel.

	Forma de la semila	Color de la semila	Color de la flor	Posición de la flor	Color de la vaina	Forma de la vaina	Largo del tallo
P	Lisa X Rugosa	Amarilla X Verde	Morada X Blanca	Axial X Terminal	Verde X Amarilla	Lisa X Arrugada	Alto X Enano
F_1	Lisa	Amarilla	Morada	Axial	Verde	Lisa	Alto

Figura 4.6 Los resultados obtenidos por Mendel al llevar cabo los cruces de cada una de las siete características contrastantes fueron que todas las plantas hijas (generación F_1) presentaron la característica dominante.

Hipótesis de Mendel

Mendel aplicó sus conocimientos matemáticos para establecer patrones en sus resultados, él sabía de la importancia de obtener un gran número de descendientes de cada cruce con el fin de minimizar los efectos de errores cuando se considera sólo un pequeño número de casos. Mendel desarrolló varias hipótesis para explicar sus resultados.

Primera hipótesis de Mendel

Mendel encontró que cada característica es controlada por un “factor” dentro del organismo. En la actualidad, se usa la palabra **gen** o **gene** en lugar de factor. Hoy sabemos que los genes son segmentos de ADN que se encuentran a lo largo de los cromosomas y que constituyen las unidades de herencia.

Mendel encontró que muchos factores tienen dos formas para una característica. Por ejemplo, para el color de la flor de chícharo, hay un factor para el morado y otro factor para el color blanco. Por lo tanto, Mendel concluye su primera hipótesis estableciendo que **las características heredadas están controladas por factores que se presentan en pares**.

Segunda hipótesis de Mendel

Otra conclusión fue que los rasgos que aparecían en las plantas F_1 debían ser más fuertes que sus rasgos contrastantes. A los factores para tales rasgos los llamó **dominantes**; a los factores que quedan escondidos les llamó recesivos. Por ejemplo, el color morado es dominante sobre el color blanco de las flores de chícharo. Esta es la segunda hipótesis que establece que **en un par de factores, uno de ellos oculta al otro, impidiéndole manifestar su efecto**.

Tercera hipótesis de Mendel

Mendel reconoció que los dos padres contribuyen a la herencia de un organismo; por esta razón, cada organismo debe tener dos factores para cada característica. Mendel también hipotetizó que los dos factores se separan cuando se forman los gametos. Como resultado, los gametos de un individuo contienen sólo un "factor" de cada característica. Durante la fecundación, los factores individuales son unidos para formar un par en los descendientes. La tercera hipótesis de Mendel establece **que se segregan o se separan un par de factores durante la formación de los gametos**.

Genética moderna

Los principios básicos de la herencia son actualmente llamadas **leyes de Mendel**, pero conviene aclarar que Mendel no les llamó leyes a sus hipótesis. Las hipótesis fueron afirmaciones que Mendel propuso para explicar los resultados de sus experimentos. Los avances de las ciencias naturales que se dieron posteriores a la presentación de los trabajos de Mendel, proporcionaron muchas evidencias que apoyaban esas afirmaciones, y que desde las primeras décadas del siglo XX son universalmente llamadas Leyes de Mendel.

Leyes de Mendel

El trabajo de Mendel debe ser situado en el ambiente científico de su época. Nada se sabía entonces de los cromosomas ni de los genes ni de la división celular, tampoco de la unión de los gametos; por lo tanto, los principios mendelianos estuvieron basados exclusivamente en la experimentación sobre cruzamientos. Sin embargo, las ideas de Mendel acerca de cómo los factores eran pasados de padres a descendientes son marcadamente similares a los procesos que hoy se conocen acerca de la conducta de los genes y cromosomas en la meiosis y fecundación.

El conocimiento de las etapas de la meiosis es útil para entender las leyes de Mendel. Recordemos que los organismos diploides tienen los cromosomas en pares. Un cromosoma de cada par viene del óvulo y el otro del espermatozoide. La ubicación de los genes para la misma característica están en la misma posición en cada cromosoma del mismo par. A causa de que los organismos diploides tienen dos cromosomas, hay dos copias de un gen para una característica dada. Estas dos

copias de genes son llamados **alelos** y los podemos definir como las versiones diferentes de un gen para la misma característica.

Ley de la segregación

Mendel probó que los factores se separan cuando se forman los gametos, esta generalización resumida es ahora conocida como **primera ley de Mendel** o **ley de la segregación**. La ley de la segregación establece que cada par de alelos se segrega o separa durante la meiosis. A causa de la segregación, la mitad de los gametos de un organismo tiene un alelo de cada par y la otra mitad de gametos contiene al otro alelo. La segregación de los pares de genes puede ser explicada por la conducta de los pares de cromosomas durante la meiosis.

Ley de la distribución independiente

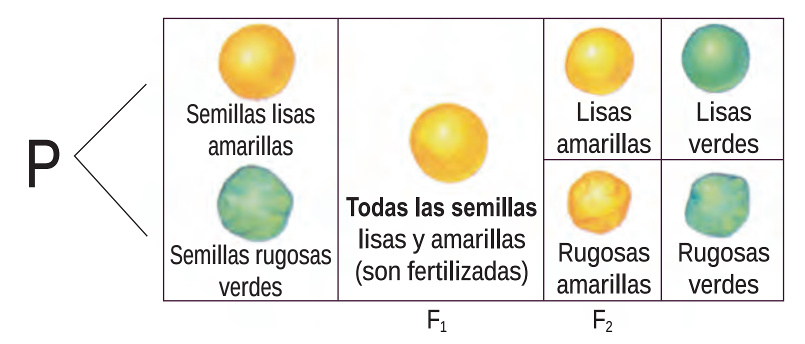


Figura 4.7 *¿Cómo las combinaciones del color y forma de las semillas en la generación F_2 evidencian que los pares de alelos se segregan en gametos al azar e independientemente?*

Mendel hizo varios experimentos en los cuales estudió la herencia de dos características contrastantes al mismo tiempo. Por ejemplo, él cruzó plantas que tenían semillas lisas y amarillas (características dominantes) con plantas que tenían semillas rugosas y verdes (características recesivas). En la generación F_1 todas las semillas son lisas y amarillas. Cuando las plantas F_1 se autofertilizaron, aparecieron en la generación F_2 todas las combinaciones posibles del color de la semilla y de la forma de la semilla. Observa la fig. 4.7. Esto significa que, por ejemplo, el color de las semillas no tiene relación alguna con la forma de la semilla de la planta de chícharo. Mendel concluyó que las características o factores se heredan independientemente de los otros pares de factores. A esta ley también se le conoce como **segunda ley de Mendel.**

La distribución, independientemente de pares de genes, resulta de la conducta de los cromosomas durante la meiosis. La separación de los pares de cromosomas ocurre al azar y produce muchas combinaciones diferentes de cromosomas en los gametos. Como los genes están en los cromosomas, la separación al azar de los pares de cromosomas también separa azarosamente los pares de genes.

Genotipo y fenotipo

En genética se utilizan letras para representar los pares de genes que controlan las características hereditarias. Como los genes están en pares (como creía Mendel) entonces cada organismo debe tener dos genes para determinar una característica. Los genetistas usan las formas minúsculas y mayúsculas de una misma letra porque los alelos para ciertas características están en las versiones diferentes del mismo gen. Como regla, la **letra mayúscula** representa el **alelo**

dominante en un par de genes, mientras que la **letra minúscula** representa al **alelo recesivo**. Los organismos diploides tienen dos alelos para cada característica. Los alelos de una planta que es raza pura de flor morada puede ser escrito como WW. Una planta de chícharo con flor blanca es representada por ww, y el híbrido tiene los alelos Ww. La constitución genética de un organismo es llamado **genotipo**. Por ejemplo, el genotipo de una planta de chícharo raza pura de flores moradas es WW. El genotipo muestra ambos alelos en un par de genes aun cuando no se exprese uno de ellos, es el caso de los híbridos, que a pesar de tener flor morada, su genotipo es Ww. El **fenotipo** de un organismo es la apariencia externa, por ejemplo: el fenotipo del híbrido F_1 de Mendel es flor morada. El genotipo ww produce el fenotipo de planta con flor blanca. A causa que W es dominante, ambos genotipos WW y Ww producen el mismo fenotipo, es decir, planta con flor morada. Observa la figura 4.8.

Genotipo	Fenotipo	Cromosomas homólogos
WW		Alelo W Alelo W
Ww		Alelo W Alelo w
ww		Alelo w Alelo w

Figura 4.8 El genotipo es la constitución genética de un organismo y su apariencia física es su fenotipo. Una planta de chícharo con el genotipo WW es un organismo homocigótico para el color de la flor. *¿Cuál será la representación del genotipo para la planta con flores blancas?*

Cuando en un organismo los dos genes de un par son idénticos, se dice que es **homocigótico** para esa característica. WW y ww son ambos genotipos homocigóticos. La generación paterna (P) de Mendel consistió de plantas que eran homocigotos para la característica que se estudiaba. Si los genes apareados no son idénticos, se dice que el organismo es **heterocigótico**. El ejemplo de un genotipo heterocigótico es la generación F_1 de Mendel. Los organismos heterocigóticos se llaman también **híbridos**. Las plantas que tienen el genotipo mixto Ww son heterocigóticas o híbridos de flor morada.

Probabilidad y genética

Mendel fue la primera persona que, a la vez que produjo híbridos, los clasificó y aplicó el análisis matemático a sus datos, específicamente la rama de la probabilidad. La **probabilidad** es el estudio de la forma en que operan las leyes del azar. El azar se refiere a la posibilidad de que ocurra cierto evento. Por ejemplo, obtener "cara" al tirar una moneda al aire.

Expresiones tales como "mitad y mitad" o posibilidad de "uno en diez" describe la probabilidad de que un evento puede suceder. El uso de fracciones y proporciones es una forma común para predecir la posibilidad de ocurrencia de un evento. Esa probabilidad se simboliza por la letra P. La probabilidad es muy útil en biología. Los genetistas usan la probabilidad para predecir los fenotipos y genotipos de la descendencia cuando se experimenta con cruzamientos. La probabilidad puede predecir los números de cada clase de descendientes antes de que cada cruza se lleve a cabo. Enseguida veremos esto con más detalle.

Tomemos el ejemplo de la moneda cuando es lanzada al aire. Si se lanza una moneda al aire, hay dos posibles resultados, águila o sello. Puede ser águila o sello, pero no ambos. Si se lanza una moneda al aire 100 veces, se espera que 50 veces caiga águila y 50 veces caiga sello. La probabilidad de que caiga águila o sello es P=1/2 .

Suponiendo ahora que se lancen dos monedas al mismo tiempo, los dos lanzamientos son independientes porque el lado del que caiga una moneda no influirá en el lado que caiga la otra moneda. ¿Cuál es la posibilidad de que ambas monedas puedan caer del mismo lado? La probabilidad que dos eventos sucedan juntos es calculado multiplicando sus probabilidades por separado. La posibilidad de que la primera moneda caiga en águila es P=1/2, y la posibilidad de que la segunda también sea águila es P=1/2; entonces la probabilidad de que ambas monedas caigan en águila es 1/2x1/2=1/4. La figura 4.9 muestra con claridad estas proporciones.

Figura 4.9 La probabilidad de que dos monedas lanzadas al mismo tiempo caigan de un mismo lado es de 1/4.

Volviendo a la genética de Mendel, y como se observa en la figura 4.10, los resultados predichos para un cruce autopolinizado en plantas de chícharo donde se sigue el color y forma de la semilla será de la siguiente manera: consideramos que los padres son heterocigotos para esos genes; los padres producen gametos con las cuatro combinaciones posibles de alelos: RY, Ry, rY, ry. Cada combinación tiene una probabilidad P=1/4 .

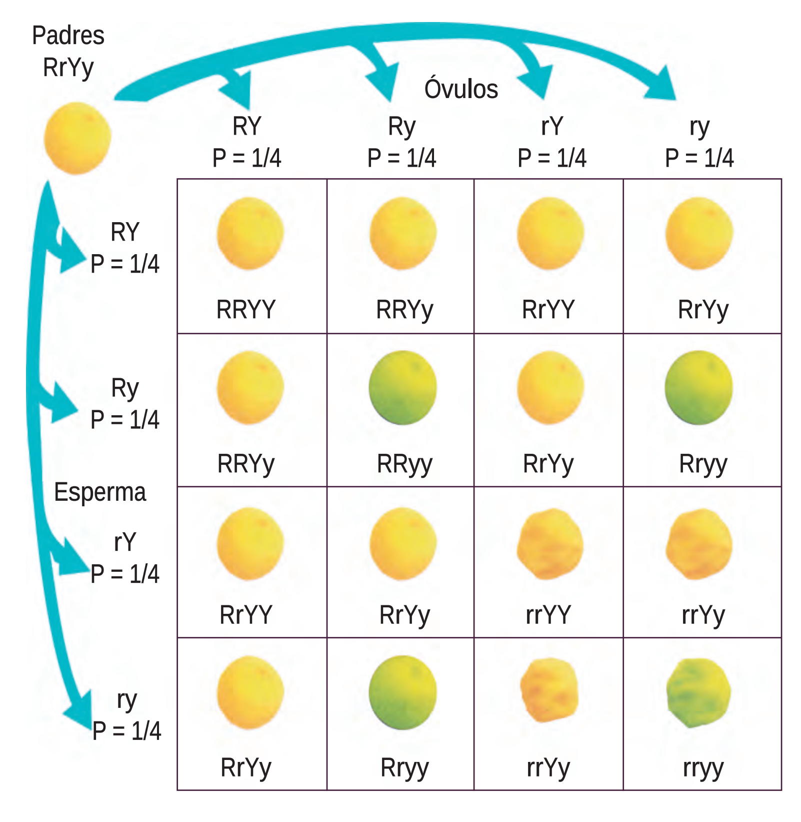


Figura 4.10 Una planta heterocigota para dos características como forma y color de las semillas producirá cuatro tipos de gametos cuya combinación tiene una P=1/4 **R** (lisa), **r** (rugosa), **Y** (amarillo), **y** (verde).

Durante la fertilización, los gametos se combinan; la probabilidad de que cada genotipo ocurra en la descendencia es 1/16. Este resultado se debe a que la probabilidad de que los dos eventos sucedan juntos es el producto de las probabilidades de los dos eventos por separado. Cada gameto tiene una P=1/4, así la probabilidad de esta combinación es P=1/4X1/4=1/16.

La proporción predicha de cada fenotipo en la descendencia es de 9 amarillos lisos, 3 amarillos rugosos, 3 verdes lisos y 1 verde rugoso. La forma más común para expresar esta proporción de fenotipos es 9:3:3:1.

Cuadro de Punnett

Un método para calcular probabilidades es hacer lo que se llama un **cuadro de Punnett**, llamado así en honor de Reginald C. Punnett quien fue su inventor. En realidad, es una cuadrícula muy útil para predecir los resultados de los cruces genéticos; es importante aclarar que sólo muestra las probabilidades, no los resultados. La forma de usar el cuadro de Punnett es la siguiente:

1. Escriba el genotipo de cada progenitor.
2. Determine los alelos en los gametos de los progenitores.
3. Ubique los alelos de los gametos de un progenitor en la parte superior de la cuadrícula y en la parte izquierda los del otro progenitor.
4. Combine los alelos correspondientes de cada lado en el interior de cada cuadro.
5. Determine los genotipos y fenotipos de los descendientes en cada cuadro.

Ahora utilizaremos el cuadro de Punnet para predecir las características de la descendencia en un cruce monohíbrido y un cruce dihíbrido.

Cruce monohíbrido

Cuando sólo se considera un par de características contrastantes en un cruce, se le llama **cruce monohíbrido**. En el siguiente ejemplo retomaremos la herencia del color de la flor de la planta de chícharo y no se tomarán en cuenta otras características.

a) La generación P consiste de una planta con flor morada (WW) que se cruza con una planta con flor blanca (ww). La cruza se escribe WW x ww. La planta de flor

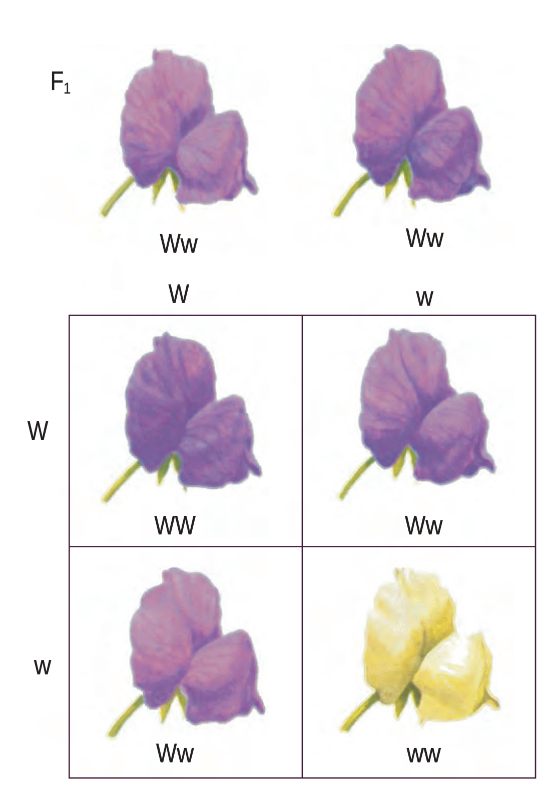


Figura 4.11 Los resultados de mendel del cruce F_1 son mostrados en este cuadro de Punnet. Aquí hay tres posibles combinaciones de genes: WW, Ww y ww.

morada produce gametos que portan el alelo W. La planta de flor blanca produce gametos que portan el alelo w. Su descendencia, la generación F_1, deberá siempre tener el genotipo Ww.

b) Como se muestra en la figura 4.11, el cruce entre dos plantas F_1 (o una sola planta F_1 que se autofertilice) es escrita Ww x Ww. Siendo híbridos los F_1, pueden contribuir con dos tipos de gametos, la mitad de ellos porta el alelo W y la otra mitad porta el alelo w. Una forma fácil de predecir las características de la descendencia de este cruce es usando el cuadro de Punnett. Como se indica en la misma figura, los alelos que son aportados por los progenitores se anotan en la parte superior y al lado izquierdo del cuadro. Entonces, en el interior, se combina cada uno de los alelos que coincidan en cada cuadro interior.

c) Las combinaciones de los alelos en los cuadros interiores son los genotipos de la generación F_2; al contar el número de los diferentes genotipos en el cuadro de Punnett, se encontrará un WW, dos Ww y un ww. Se escribirá estos resultados del cruce como una proporción genotípica 1:2:1. Después de esto se pueden determinar los fenotipos de la descendencia a partir de sus genotipos. Si W es dominante sobre w, entonces el color morado es dominante sobre el blanco, tres de las plantas tendrán flor de color morado y una tendrá color blanco. Esta proporción de plantas puede ser escrita como proporción fenotípica de 3:1.

Cruce dihíbrido

Es más común investigar sobre la herencia siguiendo dos de las características al mismo tiempo. Un cruce que comprende dos grupos diferentes de características se llama **cruce dihíbrido**.

a) Usaremos como ejemplo a las plantas con semillas que a la vez que son amarillas son lisas, y a las plantas con semillas verde y rugosa. Una planta progenitora que es homocigota, para semillas amarillas y lisas se simboliza como (RRYY), y la otra planta progenitora homocigota para semilla verde y rugosa se simboliza (rryy). Los gametos producidos por las plantas progenitoras (P) serán RY y ry, es decir, un alelo para el color de la semilla y

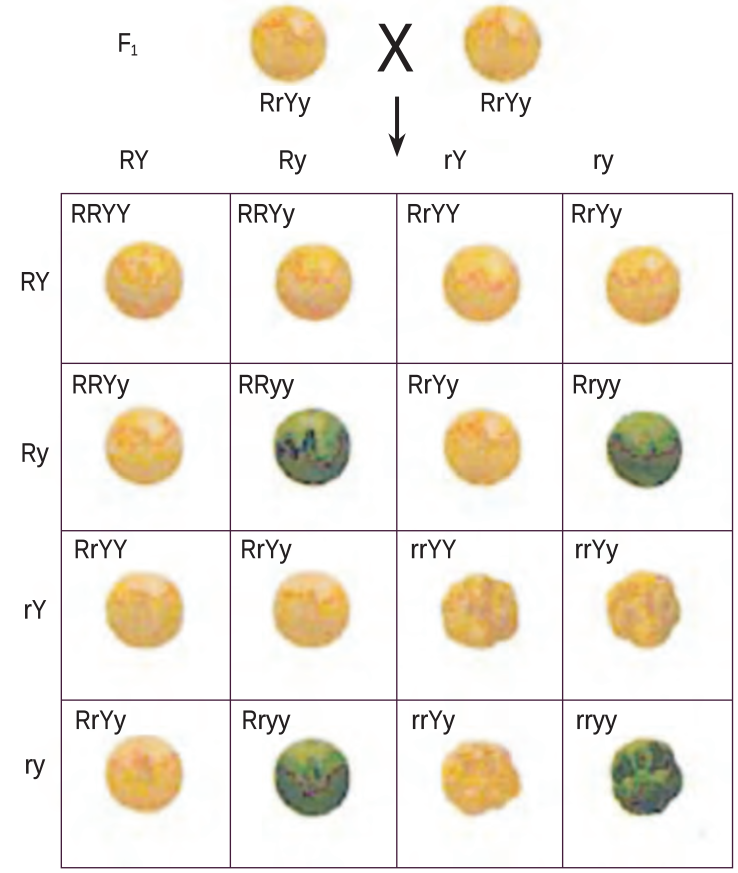


Figura 4.12 La generación F_2 de un cruce de dos características claramente muestra que los alelos se segregan independientemente uno de otro.

otro para la forma de dicha semilla. Por esto, toda la generación híbrida F_1 debe tener el genotipo RrYy. Observa la figura 4.12 donde aparece este cruce dihíbrido.

b) Al cruzar de nuevo a las plantas F_1, entre ellas mismas resultará un cruce que se escribe RrYy x RrYy. La ley de la distribución independiente establece que los alelos se distribuirán en todas las combinaciones posibles, entonces hay cuatro combinaciones de alelos en los gametos de las plantas F_1: RY, Ry, rY, ry.

c) Al anotar los gametos en la parte superior y lado izquierdo de una cuadrícula de 4x4, podemos combinar los alelos en los cuadros interiores para determinar los genotipos y fenotipos de los descendientes F_2. El resultado es que hay 9 semillas lisas amarillas, 3 semillas rugosas amarillas, 3 semillas verdes lisas y 1 semilla verde rugosa. Es claro que la proporción fenotípica es de 9:3:3:1.

Mecanismos de herencia no mendelianos

Además de las leyes de Mendel que describen claramente los mecanismos básicos de la herencia, se han reconocidos otros patrones de herencia y de expresión diferentes a las de Mendel.

Dominancia incompleta

La **dominancia incompleta** es una condición hereditaria que ya se había observado desde mediados del siglo XIX, y consiste en que un organismo heterocigoto tiene un fenotipo intermedio entre los dos fenotipos homocigotos de los progenitores; ningún alelo se expresa totalmente.

Un ejemplo de dominación incompleta es el color de la flor en la siciliana, tal como se muestra en la fig. 4.13. En un cruce entre una siciliana con flor roja y otra de flor blanca, la descendencia tiene flores rosas. No debe pensarse que los alelos se mezclan; en la dominancia incompleta solamente es el fenotipo el intermedio, ya que los alelos rojo y blanco permanecen separados. La mitad de los gametos de la planta con flor rosa portan el alelo para rojo y la otra mitad portan el alelo para blanco.

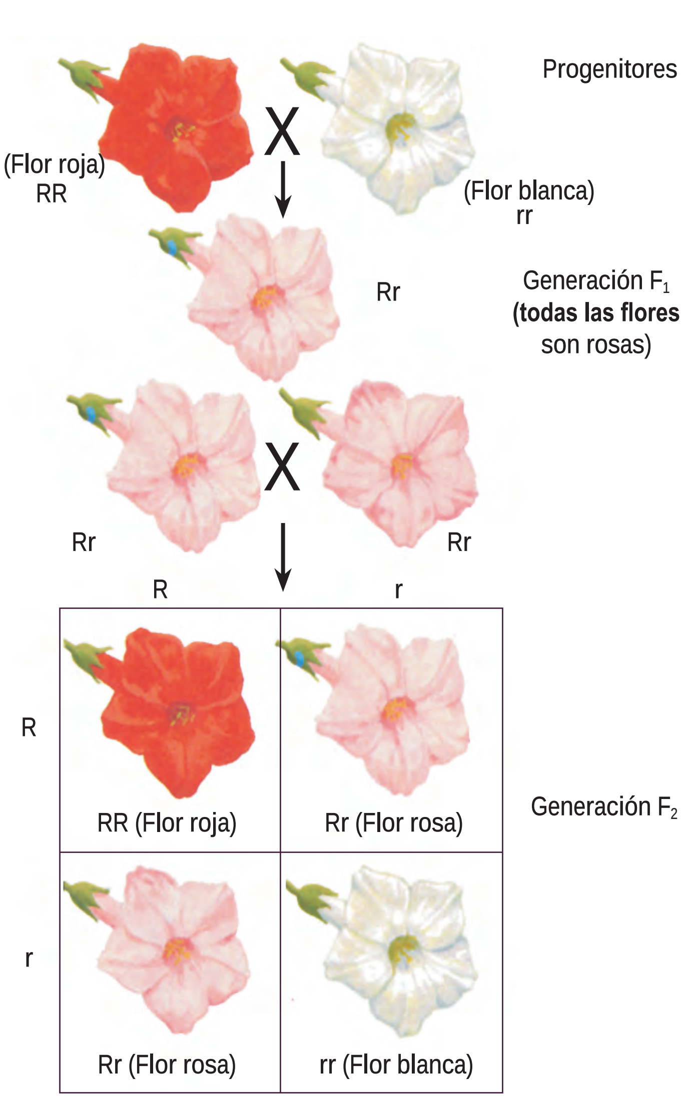


Figura 4.13 En la dominancia incompleta ningún alelo es dominante sobre otro. Al cruzar dos plantas de flor rosa es posible tener fenotipos: flor roja, flor blanca y flor rosa.

Codominancia

Existen casos en los que ambos alelos en un heterocigoto se expresan totalmente. Esto es otra forma de herencia intermedia. Es un buen ejemplo dos de los alelos responsables de los grupos sanguíneos humanos A y B. Son codominantes uno del otro, por lo siguiente: si una persona recibe el alelo tipo A (I^A) de un padre, y recibe el alelo tipo B (I^B) del otro padre, tal persona tendrá el genotipo ($I^A I^B$). Este genotipo produce el fenotipo del tipo sanguíneo AB. La sangre de esta persona tiene las características para ambos tipos sanguíneos A y B. Los alelos para los otros tipos sanguíneos se muestran dominantes o recesivos entre ellos.

Herencia poligénica

Es común reconocer que a veces varios pares de genes participan en la determinación de ciertas características en el mismo individuo. Las características controladas por más de dos pares de genes son consecuencia de la **herencia poligénica**. Características como la estatura, el peso, el color de la piel y el color de los ojos en el ser humano son rasgos poligénicos. Por ejemplo, se cree que el color de la piel está controlado por cuatro a siete pares de genes. Los varios alelos de estos pares de genes producen diferentes cantidades del pigmento llamado melanina. La combinación de la totalidad de los alelos de todos los pares de genes determinan cuánta melanina debe producirse en el cuerpo de una persona, por lo que, el color de una persona es la suma de los efectos de todos los genes presentes para el color de su piel; es por eso que hay tantos tonos de piel.

Alelos múltiples

Los **alelos múltiples** existen cuando hay más de dos alelos para una característica en una población. Nuevamente, los tipos sanguíneos del ser humano nos ejemplifican sobre esta condición. Los genes de los tipos sanguíneos humanos existen como alelos múltiples. Los tipos sanguíneos son fenotipos que pueden ser producidos por tres alelos diferentes, los cuales se presentan como I^A, I^B, e i. Cada persona tiene sólo dos de estos genes, uno de cada padre, pero, en la población humana entera, existen tres alelos. Como sabemos, los genes I^A, I^B son codominantes, pero ambos son dominantes sobre i. Una persona homocigótica (ii) tiene el tipo sanguíneo O. En la tabla 4.1 podemos ver que hay seis genotipos y cuatro fenotipos para los tipos sanguíneos humanos. Los cuatro fenotipos sanguíneos son A, B, AB y O.

Tabla 4.1 Tipos de sangre humana

Fenotipos (tipos sanguíneos)	Genotipos
A	$I^A I^A$ ó $I^A i$
B	$I^B I^B$ ó $I^B i$
AB	$I^A I^B$
O	ii

Es necesario no confundir alelos múltiples con rasgos poligénicos. En el caso de los poligénicos, cada individuo tiene muchos pares de genes, los cuales se expresan todos simultáneamente. En los alelos múltiples hay muchos alelos diferentes de un gen en la población, sin embargo, un individuo hereda sólo dos de estos alelos uno de la madre y otro del padre.

Genes y cromosomas

Cromosomas y recombinación

Mientras que las publicaciones de Mendel permanecían en el olvido, se hicieron algunos descubrimientos que daban idea acerca de algunos aspectos de la herencia. Así, en 1879, el biólogo alemán **Walter Flemming** descubrió los cromosomas al teñir células y describió el proceso de la mitosis. Al avanzar los conocimientos acerca de los cromosomas, se suponía que eran estos los portadores de las características hereditarias.

En 1900, los biólogos, Carl Correns, Hugo de Vries y Erick Tschermak, trabajando independientemente llegaron a las mismas conclusiones que Mendel. Con gran sorpresa y antes de publicar sus trabajos, encontraron en archivos de revistas científicas el artículo que Mendel había publicado 30 años antes. Cada uno de los científicos le dio el crédito completo a Mendel.

La teoría cromosómica de la herencia

Poco después de que el trabajo de Mendel fue redescubierto, varios científicos notaron la similitud entre los "factores" de Mendel y la conducta de los cromosomas durante la meiosis. Tres años después del redescubrimiento de los trabajos de Mendel, **Walter S. Sutton** y **Theodor Boveri** propusieron de manera independiente que los factores de Mendel para determinar las características hereditarias estaban localizados en los cromosomas. Posteriormente se reconocieron a los factores de Mendel como **genes** y a la propuesta de Sutton y Boveri se le llamó **teoría cromosómica de la herencia**.

La teoría cromosómica de la herencia dice que los cromosomas son los portadores de los genes.

Genes ligados

Si existen más genes que cromosomas, es posible que algunos genes no se van a distribuir independientemente porque deben estar juntos o ligados.

Uno de los primeros pares de genes ligados fue descubierto por **William Bateson** y **R. C. Punnett** en 1906, cuando experimentaban con una planta de chícharo dulce (es una variedad diferente a la que usó Mendel). Bateson y Punnett hicieron un cruce dihíbrido, o sea, involucrando dos características de las plantas. El color de la flor púrpura (P) es dominante sobre el color rojo (p),y la forma larga del polen (L) es dominante sobre el polen de forma redonda (l). Cuando un chícharo homocigoto de flores púrpuras y polen largo (PPLL) fueron cruzados con un chícharo homocigoto de flor roja y polen redondo (ppll), como se esperaba, la generación F_1 fue heterocigota con flores púrpura y polen largo (PpLl). También se esperaba que los fenotipos de la generación F_2 mostraran una proporción de 9:3:3:1, resultado predicho por la ley de la distribución independiente de Mendel. Sin embargo, los resultados de Bateson y Punnett fueron diferentes a esa proporción. La mayoría de las plantas fueron púrpura larga y roja redonda, es decir, los fenotipos de los progenitores. Sólo pocas plantas tenían las combinaciones fenotípicas de púrpura redonda y roja alargada. Observa estos resultados en la figura 4.14. Bateson y Pun-

Fenotipos de la flor y polen		Número observado de plantas	Número esperado de plantas
Púrpura	Largo	296 (9)	240 (9)
Púrpura	Redondo	27 (1)	80 (3)
Roja	Largo	19 (1)	80 (3)
Roja	Redondo	85 (3)	27 (1)

Figura 4.14 Resultados de la generación F_2 del experimento de Bateson y Punnett. La proporción de fenotipo es diferente a la esperada 9:3:3:1. Observa que sólo los fenotipos de los progenitores son los que más se presentan.

nett supusieron que los genes estaban de alguna manera conectados o acoplados, y entonces tendían a distribuirse juntos cuando los gametos eran formados.

Pocos años después de los experimentos de Bateson y Punnett, **Thomas Hunt Morgan** hizo un experimento similar. Morgan usó la mosca de la fruta *Drosophila* en sus experimentos y encontró que las características del color del cuerpo y de la forma de las alas no se distribuían independientemente. Morgan propuso que tales resultados podían ser explicados si los genes eran portados en el mismo cromosoma. Los genes que están en el mismo cromosoma son llamados **genes ligados**. Cuando los genes para características diferentes están muy cerca en el mismo cromosoma, ellos tienden a distribuirse juntos durante la meiosis y a heredarse juntos. Por lo tanto, los genes ligados no se distribuyen independientemente.

Recombinación genética

Pocas plantas de la generación F_2 del experimento de Bateson y Punnett tenían flores púrpuras con polen redondo y flores rojas con polen largo. ¿Cómo sucedió esto si los genes están ligados? Las plantas con las características púrpura-redondo y rojas-largo fueron el resultado del entrecruzamiento. Recordemos que el **entrecruzamiento** es el intercambio de genes entre cromosomas homólogos y este se lleva a cabo durante la profase I de la meiosis. El reacomodo de genes en nuevas combinaciones por entrecruzamiento es llamado **recombinación genética**. Un organismo o un cromosoma con un conjunto de genes recombinados es descrito como recombinante; una planta con el fenotipo recombinante de púrpura-redondo podría tener el genotipo Ppll. Este genotipo puede sólo ser producido si un gameto tuvo la combinación de genes Pl, tal combinación es producida sólo por entrecruzamiento. La frecuencia del entrecruzamiento entre genes ligados puede utilizarse para localizar los genes en un cromosoma y determinar si dos genes están en el mismo cromosoma, y si es así, qué tan cerca o lejos están. Con esa información se puede construir una especie de **mapa cromosómico** que muestran las posiciones de los genes en los cromosomas.

Experimentos de Morgan

Thomas Hunt Morgan empleó en sus investigaciones en genética a la mosca de la fruta *Drosophila melanogaster*. Es un organismo ideal para estudiar la genética porque es fácil de alimentar y mantener. Más aun estas moscas producen una nueva generación aproximadamente en dos semanas, produciendo en cada cruza más de cien descendientes. *Drosophila* tiene sólo cuatro pares de cromosomas, los cuales pueden ser estudiados fácilmente con un microscopio. Un par de esos cromosomas determina el sexo de los insectos. Estos cromosomas son llamados **cromosomas sexuales**.

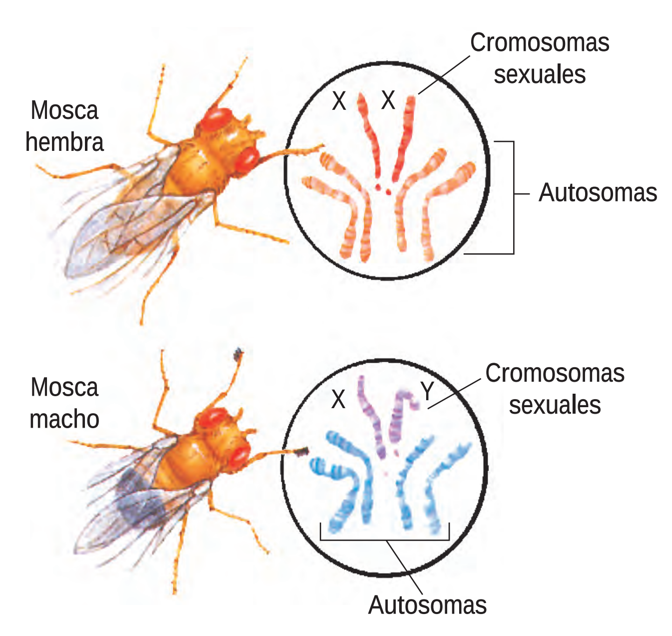


Figura 4.15 La mosca de la fruta tiene cuatro pares de cromosomas, tres pares de autosomas y un par de cromosomas sexuales. Observa la diferencia entre los cromosomas sexuales de la hembra y del macho.

Los cromosomas sexuales fueron descubiertos en 1905 por la investigadora Nettie Stevens, que los identificó en un tipo de abeja. En la figura 4.15 se puede ver que los cromosomas sexuales de la mosca de la fruta difieren en el macho y la hembra. En los machos, uno de los cromosomas sexuales es llamado X y el otro Y. En las hembras, los dos cromosomas sexuales son X.

El color normal de ojos en la mosca de la fruta es rojo. Morgan encontró que entre sus moscas había una mosca macho con ojos blancos en vez de los ojos rojos. Variaciones tales como el gen para ojos blancos suceden algunas veces, cuando un gen de un cromosoma cambia espontáneamente se le conoce como **mutación**.

Morgan cruzó una hembra de ojos rojos con el macho de ojos blancos. Toda la descendencia F_1 tenía los ojos rojos; no hubo ninguna dificultad para reconocer al alelo mutante para ojos blancos como recesivo con respecto al alelo rojo. Después, Morgan cruzó machos y hembras de la generación F_1 para producir una generación F_2. Casi tres cuartos de las moscas F_2 tenía los ojos rojos, mientras que el otro cuarto tenía los ojos blancos. Estos resultados coincidieron con la ley de la segregación de Mendel, excepto por una cosa: todas las moscas de ojos blancos eran machos. Nada en la hipótesis de Mendel podía explicar características relacionadas con el sexo del organismo.

El color de ojos es heredado en forma diferente por machos y hembras. Este hecho fue considerado por Morgan como una asociación de estos genes con los cromosomas sexuales. Morgan explicó que el gen para el color de ojos estaba sobre el cromosoma X y que el cromosoma Y no porta ningún gen para el color de ojos. Los genes encontrados en el cromosoma X o Y son llamados **genes ligados al sexo**. Observa los genotipos y fenotipos de las generaciones p, F_1 y F_2 en la figura 4.16.

Los genes ligados al sexo deben representarse con un superíndice en la parte superior de X o Y. Por ejemplo, el ojo rojo es dominante y se representa con la letra R. El genotipo de la hembra de ojos rojos se escribe X^RX^R, mientras que una hembra heterocigota es X^RX^r. El genotipo para una mosca macho con ojos rojos es X^RY. Nótese que no hay superíndice sobre Y, dado que ese cromo-

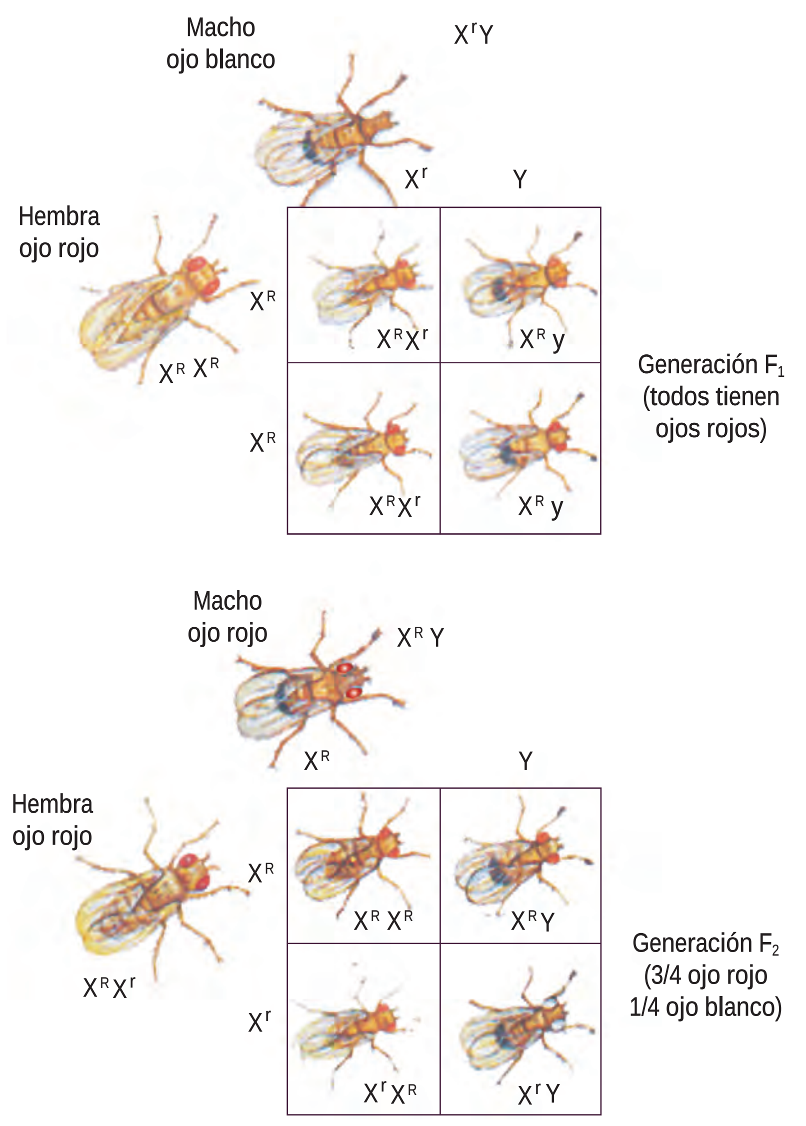


Figura 4.16 Los dos cuadros de Punnett nos muestran los resultados obtenidos por Morgan en la generación F_1 y F_2.

soma no porta alelo para esta característica. La letra Y es incluida en el genotipo para mostrar que la mosca es un macho; el genotipo de un macho de ojos blancos es X^rY. Esta simbología se aprecia en la figura 4.16.

En la generación F_2, alrededor de la mitad de los machos reciben el alelo dominante para ojos rojos y la otra mitad reciben el alelo dominante para ojos blancos. Al no haber alelo correspondiente en el cromosoma Y, un gen en lo individual determina la característica. Así, la característica recesiva es expresada en los machos que heredan ese alelo. ¿Qué genotipos se encontrarán en las hembras de la generación F_2?

Morgan hizo otro experimento para probar su hipótesis de que el gen para el color de ojos está en el cromosoma X. El cruzó un macho ojos blancos (X^rY) con hembras de ojos rojos de la generación F_1 (X^RX^r). ¿Qué resultado puedes predecir? En la figura 4.17 se muestra que alrededor de la mitad de las hembras tendrían ojos blancos, resultado que Morgan obtuvo. Debido a que las hembras no heredan un cromosoma Y, el gen para ojos blancos no estará en aquel cromosoma. El gen estará en los cromosomas X.

Morgan fue el responsable del descubrimiento de los genes ligados al sexo, pero sus series de experimentos también confirmaron la teoría cromosómica de la herencia. Los experimentos con el color de ojos blancos en *Drosophila*, proporcionaron la primera evidencia que ubica un gen particular en un cromosoma particular.

Gracias a las investigaciones de Morgan con la mosca *Drosophila*, la teoría cromosómica de la herencia queda bien establecida.

Cromosomas y determinación del sexo

En los mamíferos, en muchos insectos, en algunos peces y en las plantas dioicas, los machos tienen el mismo número de cromosomas que las hembras, pero un "par", el de **cromosomas sexuales**, es muy diferente en apariencia y composición genética. Las hembras tienen dos cromosomas sexuales idénticos llamados **cromosomas X**, y los machos tienen sólo **un cromosoma X** y **un cromosoma Y**. El sexo es determinado por la combinación de los cromosomas X y Y.

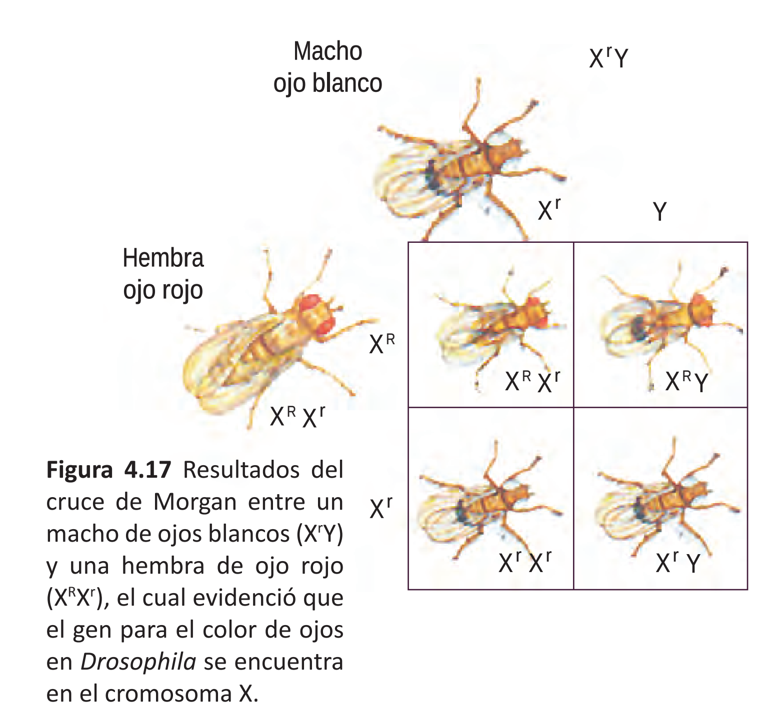


Figura 4.17 Resultados del cruce de Morgan entre un macho de ojos blancos (X^rY) y una hembra de ojo rojo (X^RX^r), el cual evidenció que el gen para el color de ojos en *Drosophila* se encuentra en el cromosoma X.

Los cromosomas X y Y son marcadamente no homólogos; en otras palabras, la mayoría de los genes en un cromosoma no tienen alelos correspondientes en el otro. Los genes en el cromosoma X se dicen ser ligados a X, y los genes en el cromosoma Y son ligados a Y. Muchos genes ligados al sexo no tienen que ver con características sexuales, por ejemplo, el gen de ojos blancos en *Drosophila* no tiene nada que ver con la masculinidad o feminidad de la mosca. Todos los pares de cromosomas, excepto los cromosomas sexuales, son llamados **autosomas**; la mayoría de los cromosomas en el organismo son autosomas. Los números de cromosomas varían, pero siempre hay sólo un par de cromosomas sexuales; por ejemplo, la mosca *Drosophila* tiene 4 pares de cromosomas (3 pares de autosomas), los seres humanos tenemos 23 pares (22 pares de autosomas) y los perros 39 pares (38 pares de autosomas).

Determinación del sexo

Durante la meiosis, los cromosomas sexuales se segregan en pares, de la misma manera que los autosomas. Como resultado de la segregación, la mitad de los espermatozoides portarán un cromosoma X, y la otra mitad portarán un cromosoma Y. La hembra, con dos cromosomas X, producirá óvulos siempre con cromosomas X.

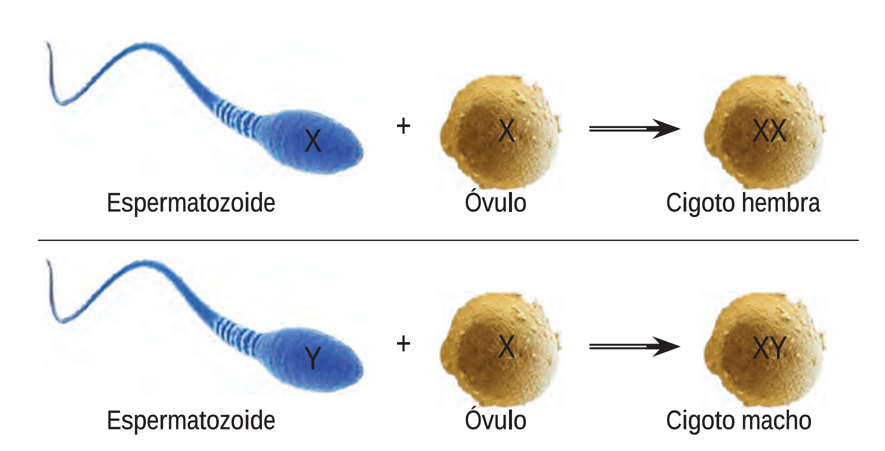


Figura 4.18 Cuando un espermatozoide con un cromosoma X fecunda un óvulo, el organismo resultante será una hembra. En cambio, si el espermatozoide tiene un cromosoma Y, el organismo que resulta de esta fecundación es un macho. *¿En los seres humanos quien determina el sexo?*

Como puedes ver, en la figura 4.18, el sexo de la descendencia es determinado en la fecundación. Cuando un espermatozoide con cromosoma X fecunda a un óvulo, el cigoto resultante contiene dos cromosomas X, por lo que el organismo resultante es hembra. En el caso de que un espermatozoide con un cromosoma Y fertilice un óvulo, el cigoto contiene los cromosomas X y Y, resultando un macho. Nótese que en estos organismos es el macho el que determina el sexo.

En muchos organismos no hay cromosomas sexuales, por ejemplo, en la mayoría de las abejas y hormigas el sexo es determinado por el número cromosómico total. Los machos son producidos de óvulos sin fertilizar y son haploides. Las hembras se desarrollan a partir de óvulo fertilizado y son diploides; algunos peces y reptiles no tienen cromosomas sexuales. En estos animales, el sexo de un individuo es determinado por factores ambientales; por ejemplo, el sexo del embrión de caimán es determinado por la temperatura a la cual se desarrolla el huevo. Además, en las aves, las polillas, las mariposas, los reptiles y algunos peces y anfibios es el macho el que tiene dos copias correspondientes del cromosoma sexual, mientras que la hembra tiene los cromosomas sexuales desiguales. En estas condiciones, por ejemplo, en las aves es la hembra la que determina el sexo.

Características limitadas por el sexo

Previamente encontramos que existen características que están determinadas por los cromosomas sexuales y son llamadas **características ligadas al sexo**. En este caso, se menciona al daltonismo y a la hemofilia; sin embargo, también los autosomas contienen algunos genes que son expresados sólo en uno o en otro sexo. Características autosómicas que son expresadas sólo en un sexo son llamadas **características limitadas por el sexo**. Los genes limitados por el sexo son portados por ambos machos y hembras; sin embargo, esos genes son activados por las hormonas de un sexo, pero no por las hormonas del otro sexo. El crecimiento de la barba en los machos y la producción de leche en hembras son ejemplos de características limitadas por el sexo.

Características influenciadas por el sexo

Otros genes localizados en cromosomas autosómicos están influenciados por el sexo; sin embargo, tampoco están ligados al sexo. Las características influenciadas por el sexo se encuentran en ambos sexos, pero se expresan en forma diferente. El padre o la madre pueden pasar estos genes tanto a las hijas como a los hijos.

La **calvicie** es una característica influenciada por el sexo; tanto hombres como mujeres pueden ser calvos, pero la calvicie es mucho más frecuente en los hombres. Esto se debe a que las hormonas sexuales influyen en la expresión del gen de la calvicie. En la presencia de hormonas sexuales masculinas, este gen es dominante, pero en la presencia de las hormonas sexuales femeninas este gen actúa como recesivo.

Además de la calvicie, se conoce como características influenciadas por el sexo al **labio leporino** y la **gota**, que se presentan más frecuentemente en hombres que en mujeres. El desorden genético de la **espina bífida**, que consiste en una fisura de una vértebra, es más común en las mujeres.

Mutaciones cromosómicas

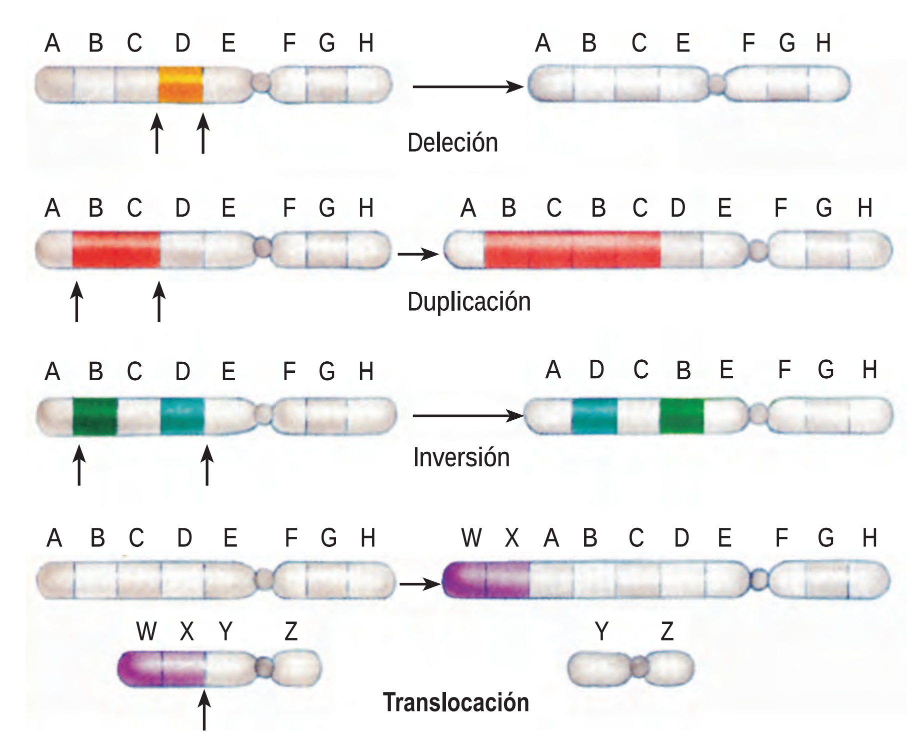


Figura 4.19 La deleción, duplicación, inversión y translocación son las cuatro mutaciones que alteran la estructura de los cromosomas. *¿Cuál es la diferencia entre duplicación e inversión?*

Los cromosomas pueden sufrir cambios espontáneos, tales cambios que involucran a cromosomas enteros o partes de ellos son llamadas **mutaciones cromosómicas**. Estas usualmente ocurren durante la mitosis o meiosis. Hay dos tipos de mutaciones cromosómicas, uno de ellos son los cambios en la estructura del cromosoma y, el otro, son los cambios en el número normal de cromosomas. En el caso de las mutaciones en la estructura del cromosoma se reconocen cuatro alteraciones:

- Deleción: pérdida de una parte del cromosoma.
- Duplicación: repetición de una parte del cromosoma.
- Inversión: un fragmento del cromosoma se separa y se reinserta invertido.
- Translocación: una parte de un cromosoma se une a otro diferente.

Las mutaciones cromosómicas son aún más drásticas que las génicas en sus efectos sobre un organismo ya que involucran a muchos genes. Por lo general, estos cambios drásticos provocan la muerte o deformaciones en la descendencia; rara vez pasan a las generaciones siguientes.

El otro tipo de mutación cromosómica sucede cuando los cromosomas homólogos no se separan durante la meiosis, de esto resulta un número desigual de cromosomas en los gametos producidos. Este error se le conoce como **no-disyunción**, a consecuencia de que algunas veces las cromátidas o pares de homólogos de cromosomas fallan en la separación correcta durante la mitosis o meiosis. Cuando la no-disyunción ocurre en la mitosis, la célula puede morir, pero el organismo usualmente no es dañado. Pero cuando la no disyunción ocurre en la meiosis, el resultado es un gameto anormal que puede producir una descendencia anormal. Ese gameto tendrá un cromosoma extra o le faltará un cromosoma. Observa la representación esquemática de la no-disyunción en la figura 4.20.

Si un gameto anormal se fusiona con un gameto normal, el cigoto tendrá también un número anormal de cromosomas. Si el cigoto recibe sólo un cromosoma particular en lugar de dos, a esta

condición se le llama monosomía. En la trisomía, el cigoto recibe tres cromosomas de un tipo particular en lugar de los dos cromosomas que normalmente se reciben. La no disyunción puede involucrar cromosomas autosómicos o sexuales.

En humanos, la monosomía o trisomía en cualquier par de cromosomas produce alteraciones tan fuertes que puede matar al embrión durante su desarrollo; sin embargo, si la descendencia sobrevive, tendrá dificultades en su desarrollo. Por ejemplo, la trisomía en el cromosoma 21 en humanos causa el **síndrome de Down**; las personas con síndrome de Down están incapacitadas severa o medianamente. Típicamente, las personas con este desorden genético tienen varias características en común; estatura baja, ojos oblicuos, lengua grande y músculos débiles. Estas personas presentan retraso mental; su desarrollo y coordinación muscular es frecuentemente pobre y, además, son propensos a los defectos del corazón. Sin embargo, muchas personas con este síndrome llevan una vida activa y productiva.

Otras anormalidades son causadas por la no disyunción de los cromosomas sexuales, por ejemplo, el **síndrome de Klinefelter** es la condición trisómica causada por un cromosoma X extra en el hombre, produciéndose individuos XXY. Tales personas generalmente tienen testículos subdesarrollados, son estériles y pueden presentar retraso mental. El **síndrome de Turner** es un desorden en el que una persona tiene solamente un cromosoma X en lugar de un par; por tanto es una monosomía. Las personas con este síndrome son mujeres XO, quienes durante la niñez se ven normales y con inteligencia normal, pero en la adolescencia no alcanzan la estatura debida, no maduran sexualmente y son estériles. Es notable que estas mujeres tienen un cuello muy ancho y un coeficiente intelectual bajo.

En la **poliploidía**, la no disyunción ocurre en todos los pares de cromosomas a la vez; un organismo poliploide tiene tres o más juegos enteros de cromosomas. La poliploidía es rara

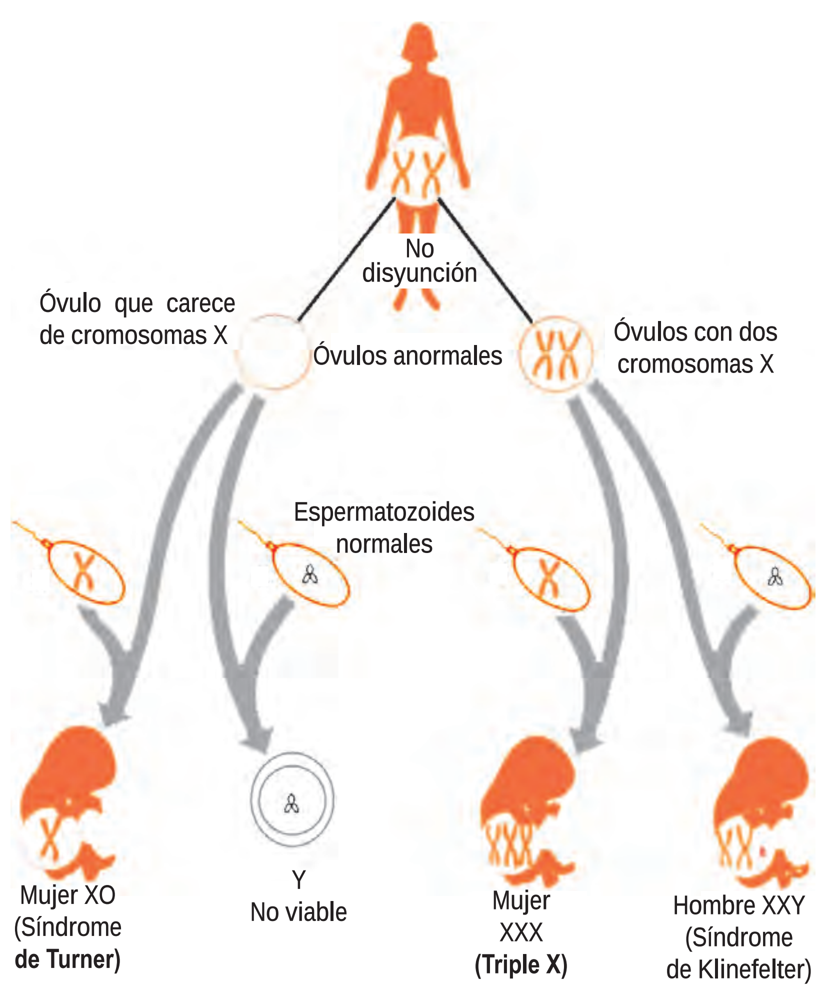


Figura 4.20 No disyunción de los cromosomas sexuales durante la ovogénesis y progenie que resulta cuando estos óvulos anormales son fecundados por un espermatozoide normal. *¿Cuántos cromosomas X posee una mujer con el síndrome de Turner?*

en los animales, pero en muchas plantas se presenta en forma natural. En los animales, la poliploidía casi siempre resulta en muerte; sin embargo, en las plantas la poliploidía puede producir plantas más resistentes. A causa de que estas frecuentemente combinan las características de dureza de las especies progenitoras, las plantas poliploides son frecuentemente más saludables, tienen flores o frutas más grandes o tienen otras características benéficas.

En la naturaleza, la poliploidía en plantas puede ocurrir como un resultado de dos mecanismos genéticos. Cuando la poliploidía ocurre como resultado de la no disyunción, la planta resultante puede fertilizarse a sí misma o aparearse con otras plantas similares. Además, la poliploidía también puede ocurrir cuando el gameto poliploide de una especie se une con el gameto haploide de otra especie. Los mejoradores de plantas producen plantas poliploides artificialmente con reactivos químicos que previenen la separación de cromosomas, induciendo la no disyunción.

Los poliploides han sido importantes en la evolución de las plantas. La poliploidía es una fuente importante de variación genética en las plantas. Entre 25 y 50% de todas las especies de plantas son poliploides, incluyendo algunas comestibles.

Ácidos nucleicos: ADN y ARN

El material hereditario

Para identificar la base molecular de la herencia, en 1868, el bioquímico **Friedrich Miescher** investigó la composición química del núcleo celular. Un año más tarde, Miescher encontró que la mitad de los materiales en el núcleo eran proteínas. El resto de los materiales nucleares no los pudo identificar, reconociendo solamente que eran sustancias ácidas y que únicamente se localizaban en el núcleo, motivo por el cual les llamó **nucleína**. Posteriormente, los científicos reconocieron esos materiales llamándoseles **ácidos nucleicos**. Se identificaron dos de estas sustancias, a una de ellas se le conoce como **ácido desoxirribonucleico** (**ADN**) y a la otra, **ácido ribonucleico** (**ARN**). En 1902, Walter Sutton sugirió que la base física de la herencia son los cromosomas. Después, el trabajo de Morgan dio fuertes evidencias para apoyar esta teoría cromosómica de la herencia; sin embargo, ya se había encontrado que los cromosomas contienen cantidades iguales de ADN y proteínas. A partir de estas investigaciones surge la necesidad de precisar de si eran los ácidos nucleicos o las proteínas los responsables de la información contenida en los genes.

El proceso de transformación

En 1928, el bacteriólogo **Frederick Griffith** dio los primeros pasos hacia la respuesta de la controversia: ¿ADN o proteínas? Griffith experimentó con la bacteria *Streptococcus pneumoniae*, de la que descubrió dos variedades o cepas, en una de ellas cada bacteria tiene una cápsula o cubierta que la protege. Esta variedad fue llamada “cepa S” y causa neumonía en los ratones. En la otra variedad, las bacterias no tienen cápsula y fue llamada “cepa R”; esta cepa no produce la enfermedad. Griffith, para ver si era la cubierta mucosa la que causaba la enfermedad, calentó las bacterias de la cepa S; resultado: el calor mató las bacterias, pero no destruyó la

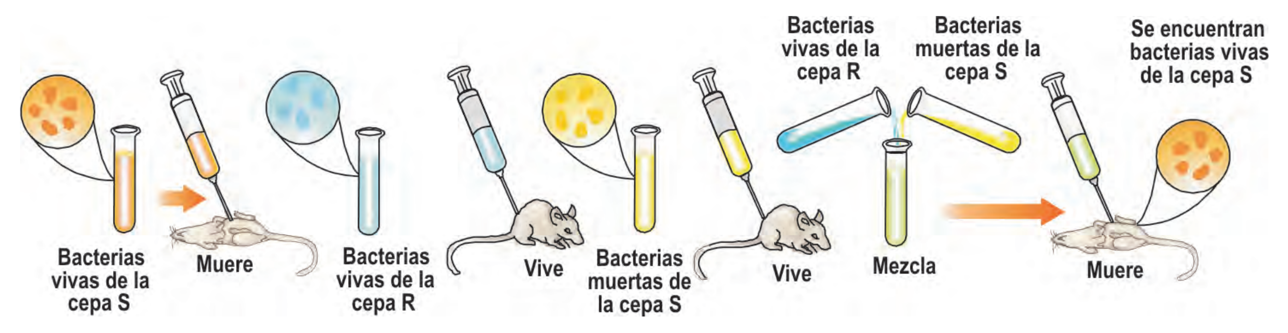


Figura 4.21 Experimento de Griffith.

capa mucosa. Griffith inyectó las células S muertas en los ratones y encontró que los ratones no desarrollaban la enfermedad de la neumonía, por lo que concluyó que la cubierta por sí sola no causa la enfermedad.

Griffith, al continuar con sus experimentos, mezcló las bacterias muertas de la cepa S con bacterias vivas de la cepa R y la inyectó a los ratones. Como las células de la cepa S estaban muertas y las células de la cepa R no producen neumonía, él esperó que dicha mezcla no enfermara a los ratones. La figura 4.21 nos muestra que los ratones que fueron inyectados con la mezcla murieron de neumonía. Al ser examinada la sangre de los ratones muertos, Griffith encontró bacterias vivas de la cepa S con cubierta mucosa. ¿De dónde vinieron las bacterias vivas de la cepa S? Griffith supuso que algún material se pasó de la bacteria muerta S a la bacteria viva R, cambiando a la bacteria R en una bacteria S. Los investigadores se refirieron a ese material transferido como "factor transformante". Griffith reprodujo las bacterias S que recuperó de la sangre de los ratones muertos, encontrando que las bacterias hijas también tenían cápsula mucosa. Todo indicaba que el factor transformante debía ser el material genético, pues las nuevas características heredadas, incluyendo la habilidad para formar la cápsula mucosa, fueron identificadas en las células hijas. El proceso mediante el cual la bacteria es cambiada al absorber material genético del exterior es llamado **transformación**. Pero, en realidad, Griffith no aportó respuesta clara a la controversia.

ADN, el factor transformante

La evidencia más fuerte de que el ADN era el factor transformante, fue publicada en 1944 por el bacteriólogo estadounidense Oswald Avery y sus colegas Colin McLeod y Maclyn McCarty. Estos investigadores aislaron ADN de bacterias de la cepa S, lo mezclaron con bacterias de la cepa R y produjeron bacterias de la cepa S vivas, pero ¿qué sucedió? La bacteria R incorporó el ADN a su cromosoma. La conclusión de estos resultados fue que el ADN es el responsable de la transformación. A pesar de estos resultados, muchos científicos seguían dudando de que el ADN fuera el material genético.

ADN y virus bacterianos

Los estadounidenses **Martha Chase** y **Alfred Hershey** publicaron en 1952 los resultados de una serie de experimentos donde concluían que el ADN es el material genético. Sus experimentos involucraron al material genético de ciertos virus llamados bacteriófagos, o fagos. Estos bacteriófagos infectan y destruyen a las bacterias.

Hershey y Chase sabían que un bacteriófago está constituido sólo de ADN y proteínas. Cuando un bacteriófago infecta a una bacteria, este se adhiere a la superficie bacteriana e inyecta cierto material dentro de la célula; el resto del fago permanece fuera de la bacteria. La sustancia inyectada, entonces, se apodera de la célula bacteriana que inicia la producción de nuevos fagos. Los nuevos virus revientan a la bacteria, liberándose para infectar nuevas bacterias.

Hershey y Chase supusieron que la sustancia inyectada podría ser el material genético ya que este controla el metabolismo de la bacteria. Para determinar si la sustancia inyectada por el bacteriófago es ADN o proteínas, Hershey y Chase prepararon bacteriófagos cuyos ADN contenían fósforo radiactivo y otros que contenían proteínas con azufre radiactivo. Después pusieron en contacto estos bacteriófagos radiactivos con bacterias. El resultado de este experimento fue que el fósforo radiactivo siempre aparecía en el interior de las bacterias y el azufre por fuera. Así, Hershey y Chase concluyeron que el ADN y no la proteína era el material genético de los bacteriófagos.

ADN: estructura y replicación

Una vez que el ADN fue conocido como material genético, se estableció una competencia entre los científicos para trabajar sobre su estructura. Uno de estos científicos fue el bioquímico **Erwin Chargaff**, quien con sus experimentos descubrió un dato muy importante. El analizó la cantidad de bases nitrogenadas del ADN de diversas especies y encontró que la cantidad de **adenina** es siempre igual a la de **timina**, y la cantidad de **citosina** es siempre igual a la cantidad de **guanina**. Estas observaciones son conocidas como **reglas de Chargaff**. El mismo Chargaff no pudo explicar sus descubrimientos, pero fueron indicios importantes para otras investigaciones posteriores.

Estudios de rayos X

A principios de 1950, en Londres, Rosalin Franklin y Maurice Wilkins hicieron una importante contribución para revelar la estructura del ADN. Estos científicos bombardearon con rayos X cristales de ADN purificados y fotografiaron los patrones de difracción resultante. Estas fotografías sugirieron a Franklin y Wilkins que la molécula de ADN es una hélice, o sea, una espiral; además, les reveló algunos datos sobre algunas de sus dimensiones.

Estructura del ADN

Muchos eran los científicos que querían encontrar la estructura del ADN, pero la suerte favoreció al físico **Francis Crick** y al biólogo **James Watson**, quienes propusieron en 1953 un modelo de estructura del ADN que se conoce como "la doble hélice". Este modelo es el aceptado en la actualidad como la estructura correcta del ADN. Watson y Crick, para llegar a la estructura del ADN, trabajaron con modelos de alambre y con la información que sobre el ADN se tenía y que era el resultado de investigaciones realizadas por muchos otros científicos. A fines de 1940, los científicos habían establecido que el ADN consiste de largos filamentos de **nucleótidos**. Cada nucleótido contiene un azúcar de cinco carbonos llamado **desoxirribosa**, un **grupo fosfato** y una **base nitrogenada** que puede ser **adenina (A)**, **timina (T)**, **guanina (G)** y **citosina (C)**. También se encontró

que dos de estas bases tienen anillos dobles en una estructura similar al grupo de las purinas; las **purinas** son adenina y guanina. Las otras dos bases tienen solamente un anillo en su estructura, característico de las **pirimidinas**, y son la timina y la citosina. En la figura 4.23 se muestra la estructura de los nucleótidos.

Muchas interrogantes permanecían sin respuesta. ¿Qué forma tienen las moléculas del ADN? ¿es una sola cadena? ¿ las bases se encuentran dentro o fuera de la molécula? Un modelo que represente a estas sustancias nos debe ayudar para explicar las observaciones de Chargaff acerca de las mismas cantidades de bases y deberá, a su vez, explicar cómo se duplica por sí misma, esta molécula.

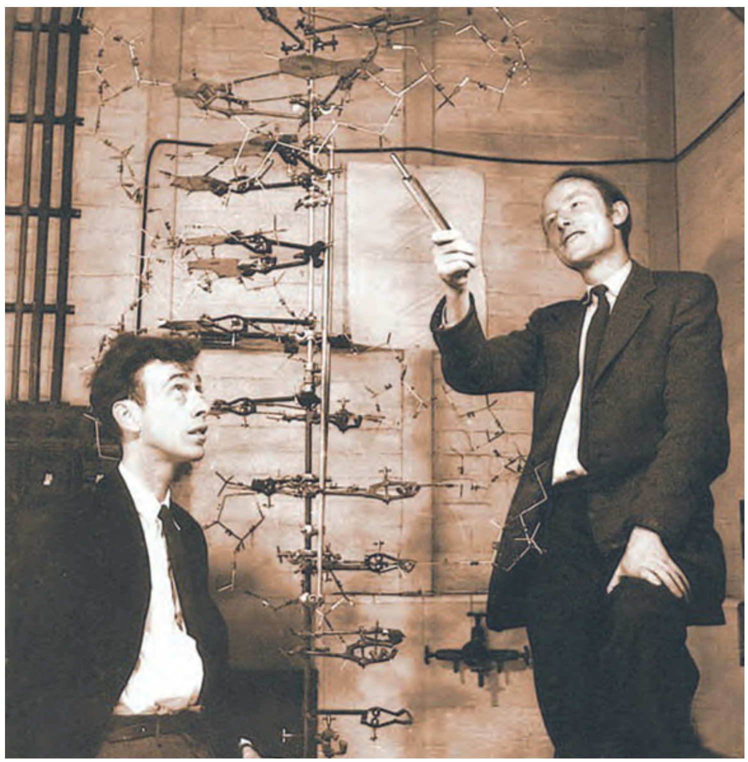


Figura 4.22 Francis Crick (a la izquierda) y James Watson en 1953, con un modelo de su estructura del ADN.

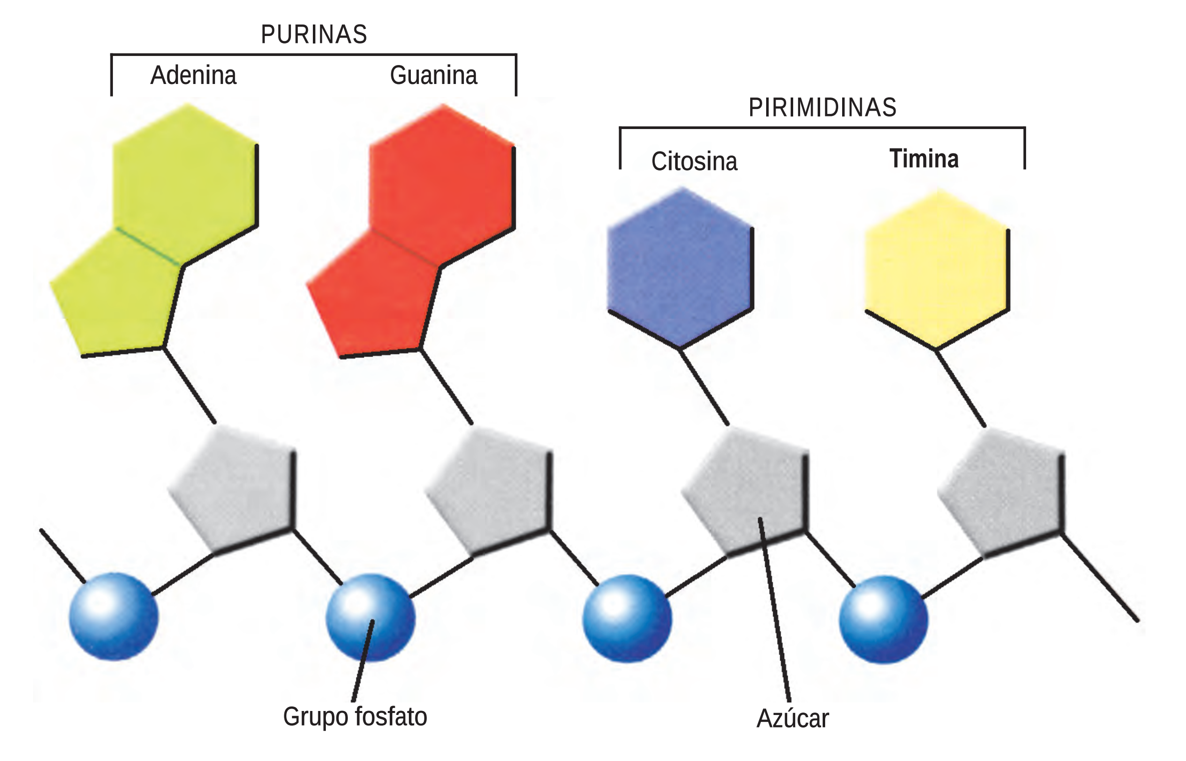


Figura 4.23 Un nucleótido está constituido por un grupo fosfato, una molécula de azúcar y una base nitrogenada. Los nucleótidos se nombran por la base que contienen. Por ejemplo, el nucleótido de adenina contiene la base adenina. *¿Cuántos nucleótidos observas en la figura?*

El modelo de la doble hélice

Watson y Crick ensamblaron varios modelos tridimensionales; después de probarlos y mejorarlos, hicieron un modelo en el cual la molécula de ADN está constituida por dos cadenas largas enrrolladas en una forma llamada “doble hélice”, de la misma manera en que se enrosca una escalera de caracol. Las moléculas de fosfato-azúcar se encuentran por el lado de afuera de la molécula; imagínate que forman los pasamanos de la escalera.

Las bases se encuentran en el centro de la molécula, en pares, unidas por **puentes de hidrógeno** formando los travesaños o escalones de la escalera. Según este modelo, cada par de bases que forma un escalón está constituido por una de las purinas y una de las pirimidinas, reconociéndose que la **adenina** sólo se une con la **timina**, y la **guanina** sólo con la **citosina**. Cada purina hace par con una pirimidina que puede hacer el mismo número de enlaces hidrógenos. Las dos cadenas ADN se dice que son complementarias una con otra porque si se conoce la estructura de una cadena, también se conocerá la estructura de la otra cadena. Observa la figura de la estructura del ADN e identifica cada uno de sus componentes.

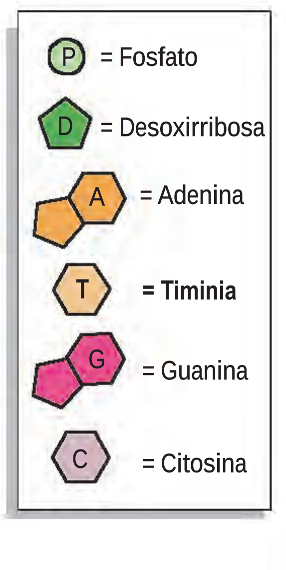


Figura 4.24 La estructura de doble hélice del ADN resulta del apareamiento de las cuatro bases y de los ángulos de sus enlaces químicos. *¿Con quién se aparea la adenina?*

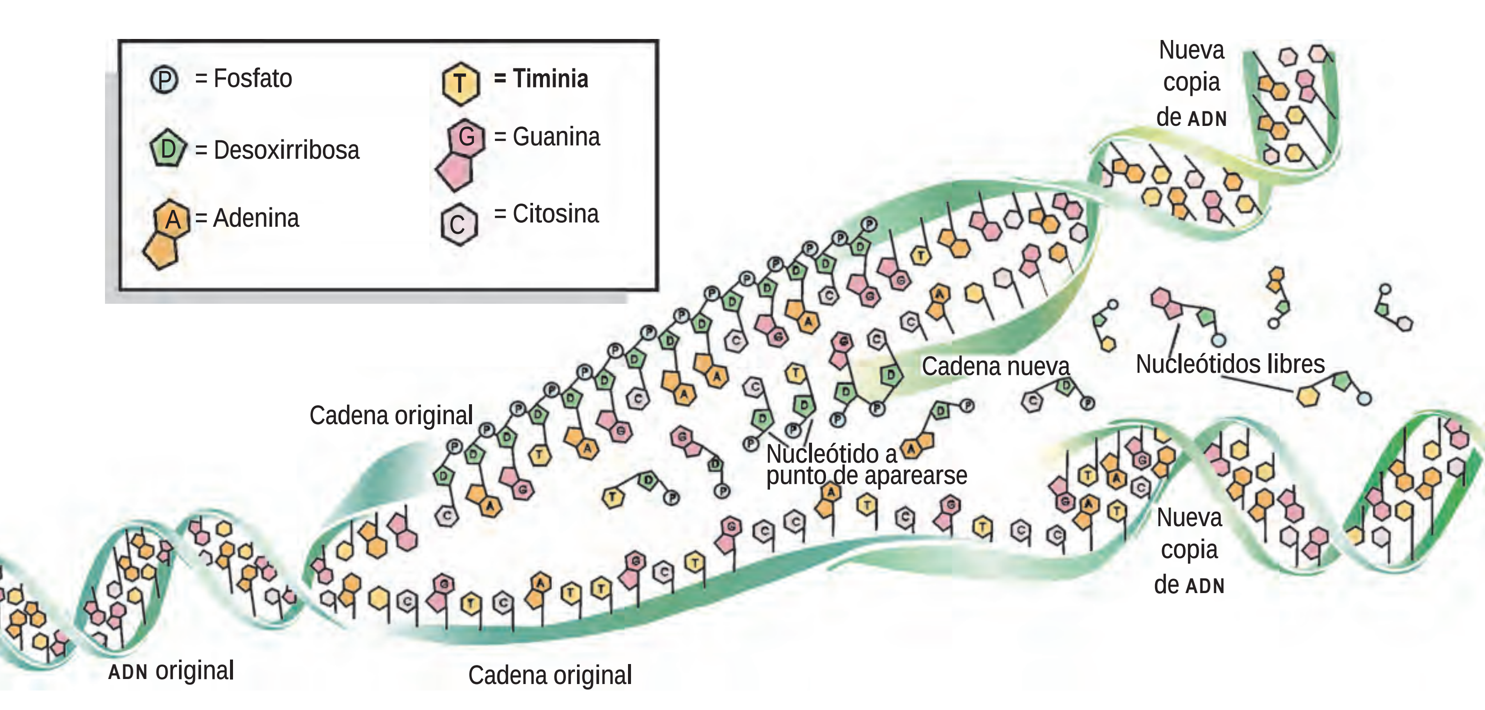


Figura 4.25 Durante la replicación, las bases del ADN original se separan quedando expuestas. Cada base se une con un nucleótido libre que contiene su base complementaria. Este proceso se repite hasta que se forman dos copias idénticas de la molécula de ADN original.

Réplica del ADN

El modelo propuesto por Watson y Crick despejaba las dudas anteriores, entre ellas, perfectamente explicaba las reglas de Chargaff y cómo se autoduplica el ADN. El cual en los cromosomas hace copias de sí mismo durante la interfase, previo a la división celular.

El proceso por el cual el ADN hace copias de sí mismo es llamado replicación

Al principio de la réplica, las dos cadenas del ADN se desenrollan; las enzimas rompen los enlaces de hidrógeno que unen los pares de bases del ADN. Las dos cadenas de nucleótidos se separan de manera parecida a la acción de un cierre que se abre. Cada cadena original sirve como patrón o molde para la formación de una cadena hija complementaria. La nueva cadena se forma con los nucleótidos libres que han sido sintetizados previamente en el núcleo. Una enzima llamada ADN polimerasa se mueve a lo largo de la cadena original del ADN, uniendo las bases de la cadena con las bases complementarias de los nucleótidos libres. La adenina se enlaza con la timina y la citosina con la guanina. Este proceso realizado por la ADN polimerasa se lleva a cabo en las dos cadenas originales. Los enlaces también se forman entre los azúcares y fosfatos de los nucleótidos adyacentes El resultado de la réplica es la formación de dos moléculas de ADN idénticas a la original. Este proceso de replicación del ADN se le conoce como réplica **semiconservadora**, ya que cada molécula de ADN posee o conserva una cadena del ADN original y una recién sintetizada. Observa este proceso en la figura 4.25.

ADN y proteínas

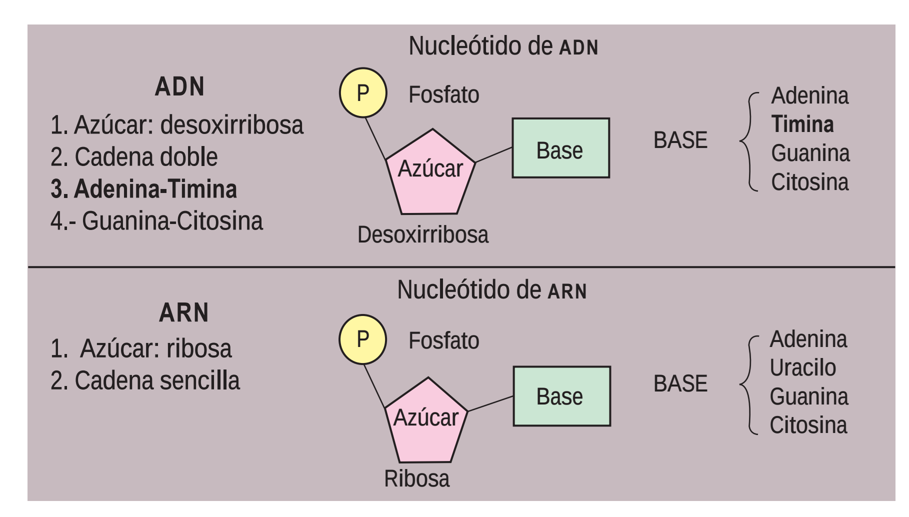


Figura 4.26 El ARN difiere del ADN en tres aspectos: primero su azúcar es la ribosa; segundo, contiene uracilo en lugar de timina, y tercero esta constituido por una sola cadena.

La cuestión de cómo los genes controlan la célula fue investigado desde antes que los científicos supieran que los genes estaban constituidos de ADN. Ya en 1941, mediante una serie de experimentos, algunos científicos habían llegado a la conclusión de que cada gen, de alguna manera, controla la producción de un tipo de enzima. Esto dio origen a la hipótesis “un gen, una enzima”. Recuerda que las enzimas regulan todas las reacciones químicas que ocurren en la célula.

Actualmente, los científicos saben cómo el ADN controla la elaboración o síntesis de todas las proteínas celulares, no sólo de las enzimas. La hipótesis anterior ahora es “un gen, una proteína”. En otras palabras, un **gen** es un segmento de ADN que contiene la información necesaria para sintetizar una proteína.

ARN: estructura y transcripción

Como recordarás, el ADN de las células eucariotas está en el núcleo y la síntesis de proteínas se lleva a cabo en los ribosomas, localizados en el citoplasma de la célula. Por lo tanto, el ADN no puede dirigir directamente la síntesis de proteínas. Existe una molécula intermediaria que es un segundo tipo de ácido nucleico, el **ARN** o **ácido ribonucleico**.

El ARN se parece al ADN ya que también está estructurado por un azúcar, un grupo fosfato y bases nitrogenadas. La diferencia está en que el ARN es una sola cadena de nucleótidos; el azúcar es la ribosa y, en lugar de la base timina, tiene la base uracilo (U). Estas diferencias se muestran en la figura 4.26. Tres tipos de ARN están involucrados en llevar a cabo las intrucciones de la síntesis de proteínas. La elaboración de proteínas es llamada **síntesis proteica**.

El primero, el **ARN mensajero** (ARNm), lleva las intrucciones codificadas para elaborar una proteína desde el ADN en el núcleo hasta los ribosomas en el citoplasma. El segundo, el **ARN de transferencia** (ARNt), acarrea los aminoácidos a los ribosomas, ordenadamente, según la secuencia en que deben aparecer en la nueva proteína. El tercer tipo es el **ARN ribosomal** (ARNr), que constituye, junto con otras proteínas, a los ribosomas. Ahora veamos cómo a partir del ADN, la célula va a sintetizar las miles de proteínas diferentes que se requieren para el funcionamiento celular. Para esto, debemos revisar dos procesos fundamentales que son la transcripción y la traducción.

Transcripción

La producción de una proteína inicia con la síntesis del ARNm. La síntesis del ARNm a partir del ADN, es llamada **transcripción**. Sigue cuidadosamante el proceso de transcripción en la figura 4.27. Como puedes ver, la transcripción inicia cuando una región de las dos cadenas del ADN se desenrrollan y se separan, quedando expuestas las bases. La separación sólo ocurre en la región del ADN o gen que posee la información de la proteína que se requiere sintetizar; sólo una de las dos cadenas posee esta información, por lo que se le conoce como **cadena patrón**.

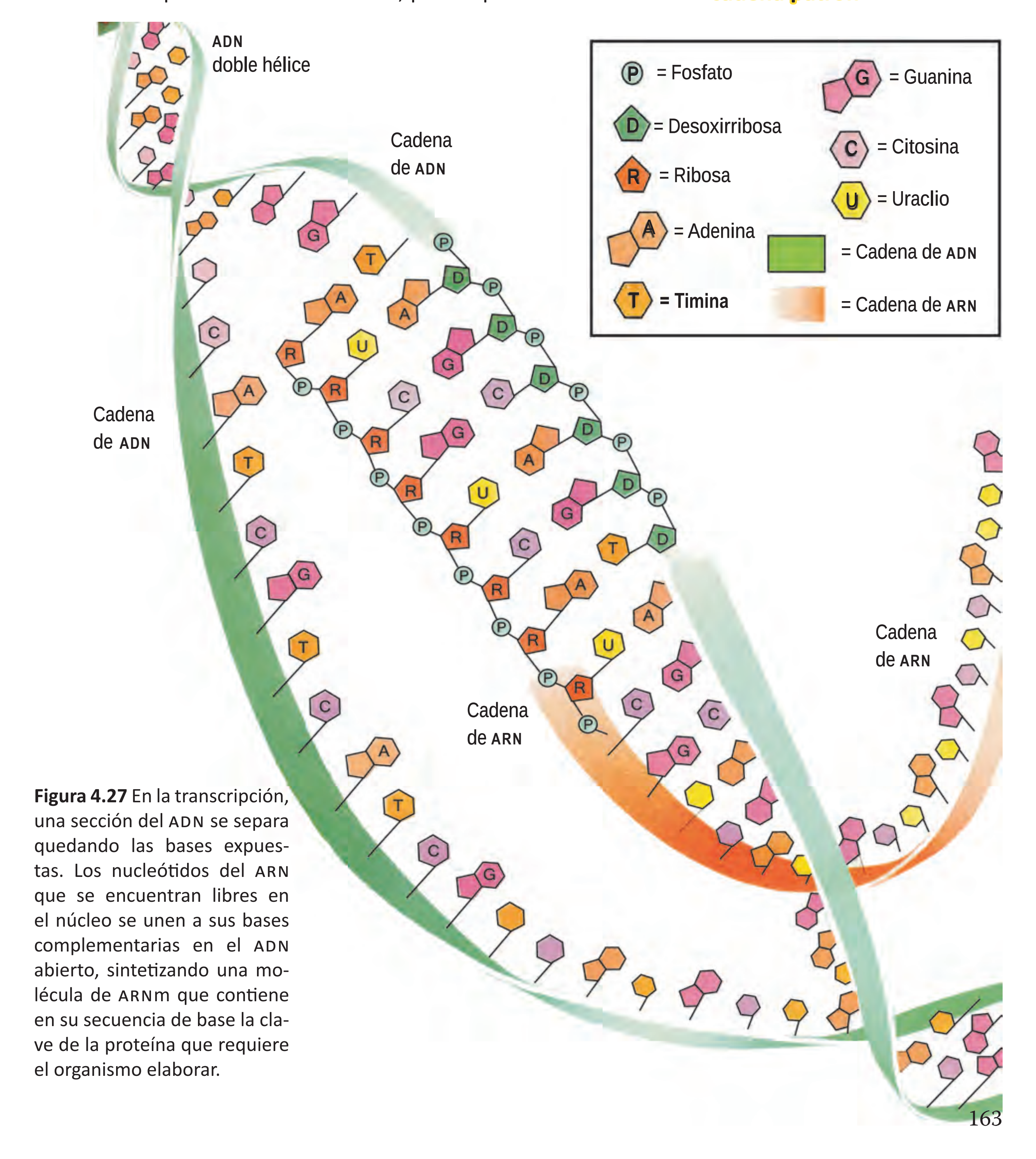


Figura 4.27 En la transcripción, una sección del ADN se separa quedando las bases expuestas. Los nucleótidos del ARN que se encuentran libres en el núcleo se unen a sus bases complementarias en el ADN abierto, sintetizando una molécula de ARNm que contiene en su secuencia de base la clave de la proteína que requiere el organismo elaborar.

Los nucleótidos del ARN están libres en el núcleo en espera de ser ensamblados como ARNm. La enzima ARN polimerasa une las bases del ARN con sus bases complementarias sobre la cadena patrón del ADN.

Por ejemplo, suponiendo que las tres primeras bases en la cadena patrón del ADN sean G, T y A, entonces, la ARN polimerasa alineará a los nucleótidos con las bases complementarias C, A, y U. Observa que el uracilo reemplaza a la timina en el ARN. Las enzimas unen a los nucleótidos del ARN formando una molécula de ARN mensajero. La molécula de ARN mensajero recién sintetizada se separa de la cadena patrón y emigra al citoplasma. El ARNm contiene la información necesaria completa para el polipéptido o proteína que se debe sintetizar.

Código genético

Como ya hemos visto, la molécula de ARN mensajero, transcrito del ADN, lleva el código para la proteína que se quiere sintetizar. El **código genético** o **clave genética** del ARNm está en la secuencia de sus bases, es decir, esa secuencia estricta de bases va a determinar, a su vez, la secuencia de aminoácidos que serán ensamblados en la proteína que se sintetizará.

Pero, ¿cómo se puede descifrar el código genético? Un problema que enfrentaron los primeros científicos que se dieron a la tarea de descifrar el código genético fue saber cómo las bases codifican o indican cada uno de los aminoácidos que se deben enlazar. Recuerda que hay 20 aminoácidos que se encuentran en todas las proteínas y sólo hay cuatro bases en el ARN. Así, cada base en lo individual no puede codificar para un aminoácido simplemente porque son pocas las bases. Si una secuencia de dos bases codificara un aminoacido, entonces solamente tendríamos posibilidad de 16 combinaciones $(4)^2$ de bases diferentes. Esto también es insuficiente para completar los 20 aminoácidos. Por fin, en 1961, los científicos encontraron que para codificar a cada aminoácido debe existir una secuencia de tres bases, es decir, un conjunto diferente de tres bases del ARNm indica cuál aminoácido está cifrado y que formará parte de alguna proteína.

El código de tres bases en el ADN o en el ARNm es llamado **codón**. Por ejemplo, el codón del ARN: UUU traduce para el aminoácido fenilalanina, y CAG traduce para la glutamina.

Figura 4.28 Una serie de tres bases forma un codón o triplete.

A partir de que los codones son de tres bases, puede haber 64 codones $(4)^3$, lo cual, es más que suficiente para codificar los 20 aminoácidos. Todos los codones tienen una función específica. Cierto codón señala el inicio de la cadena, específicamente es AUG, que también codifica para el aminoácido metionina. Esto significa que el primer aminoácido de una proteína es la metionina; otros señalan el término de la síntesis de la proteína como lo son UAA, UAG y UGA, que son la señal de "alto". En otros casos, hay simplemente dos o más diferentes codones para el mismo aminoácido. Observa la figura 4.29 para tener una idea más clara sobre este código.

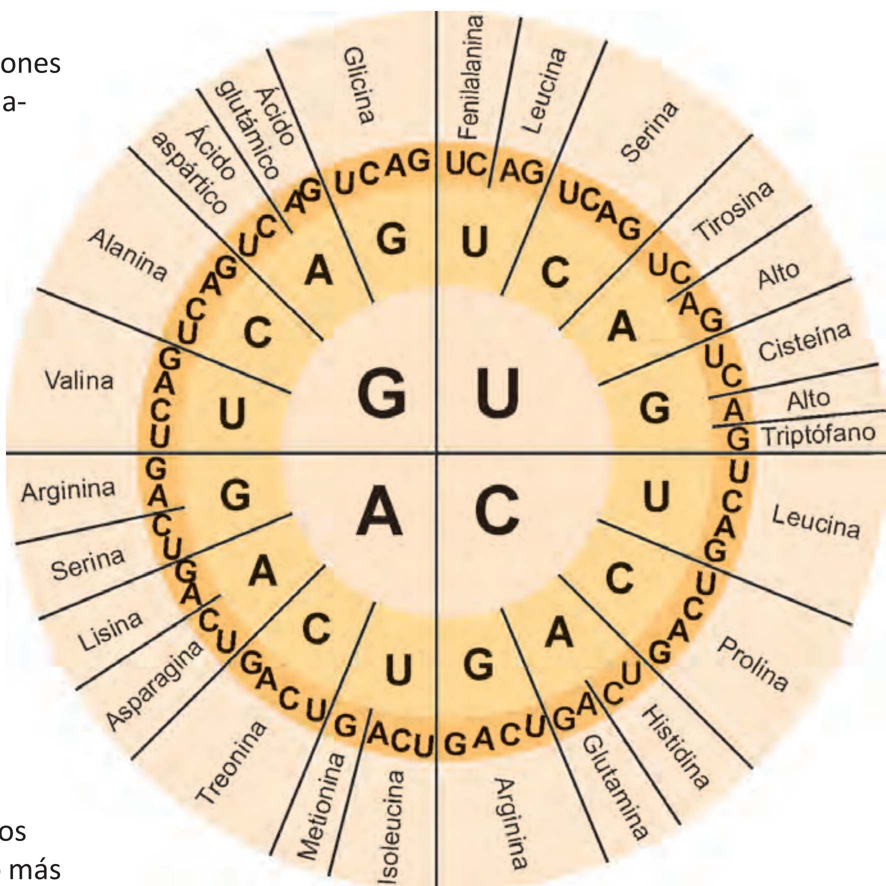


Figura 4.29 El código genético muestra los aminoácidos que corresponden a cada uno de los 64 codones posibles. Para decodificar un codón se empieza por el centro del círculo y continúa hacia afuera. Por ejemplo UUU y UUC codifican para fenilalanina.

Los códigos para aminoácidos son universales; en humanos, en bacterias o virus, el mismo codón se traduce para el mismo aminoácido, por ejemplo, CAU es en todos los organismos el que codifica a la histidina. El hecho de que todos los organismos compartan el mismo código genético muestra la unidad básica de la vida en la Tierra.

Síntesis de proteínas

El proceso mediante el cual se sintetizan proteínas con la participación del ARNm se llama **traducción**. Las proteínas son sintetizadas en el citoplasma, específicamente en los **ribosomas**. Antes de que una proteína sea sintetizada, el ARN mensajero que porta el código para una proteína debe, previamente, ser transcrito a partir del ADN del núcleo. El ARNm, entonces, debe dejar el núcleo y entrar al citoplasma. Ya en el citoplasma, las dos subunidades de los ribosomas se unen al ARNm.

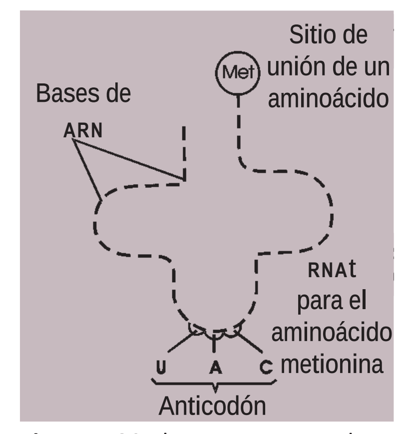


Figura 4.30 El ARNt es una cadena simple pero adquiere la forma de una hoja de trébol. Un extremo de la molécula tiene un sitio de unión para el aminoácido que transporta. El otro extremo es una región llamada anticodón, constituida por tres bases expuestas.

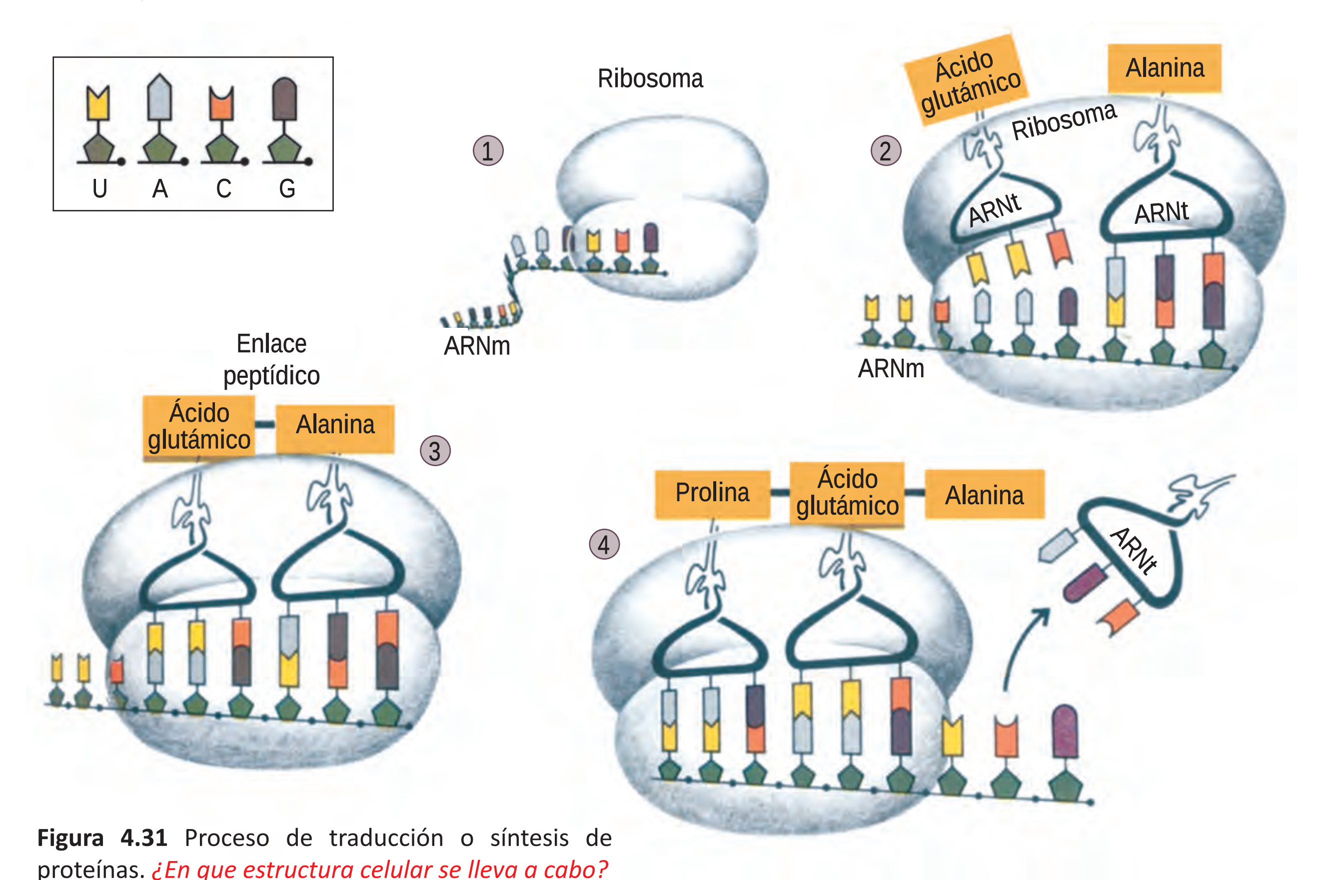


Figura 4.31 Proceso de traducción o síntesis de proteínas. *¿En que estructura celular se lleva a cabo?*

Todas las proteínas están formadas por largas cadenas de aminoácidos. Los aminoácidos individuales son llevados hacia los ribosomas por el ARN de transferencia (ARNt). Cada clase de aminoácido tiene su propio ARNt específico. Todos los ARNt tienen una región llamada **anticodón** (figura 4.30), cuyas bases complementan un codón del ARNm.

Resumiendo el proceso de traducción, tenemos que, una vez que el ribosoma se une al ARNm, un ARNt cargado con su aminoácido iniciará la formación de una proteína. El primer codón complementario del ARNm que se encuentra es el GCU que codifica para el aminoácido alanina; el primer ARNt debe tener el anticodón CGA y portará la alanina. Codón y anticodón se unen. El ribosoma sólo tiene dos lugares para unir aminoácidos, de tal manera que, los ARNt que posteriormente llegan, según el codón siguiente, se identifican con su anticodón, entregan su aminoácido y las enzimas ribosomales los van uniendo en cadenas características de cada proteína; cuando esto sucede, cada ARNt vacío se va retirando del ribosoma para dar lugar a que los siguientes ARNts que portan otros aminoácidos puedan entrar al ribosoma que se va moviendo al siguiente codón sobre el ARNm. Esto se repite hasta que el ribosoma alcanza el codón de terminación del ARNm. Al proceso mediante el cual los ribosomas construyen proteínas uniendo aminoácidos ordenadamente de uno por uno, se le llama "ciclo de elongación". Cuando se llega al codón de terminación, el ribosoma suelta al ARNm; la proteína terminada es liberada y está lista para ser utilizada por la célula. Observa este proceso en la figura 4.31. Tomando en cuenta que el ribosoma va avanzando sobre la cadena de ARNm, otros ribosomas pueden incorporarse en la parte inicial, de tal forma que puede haber hasta 100 ribosomas trabajando simultáneamente sobre una misma cadena de ARNm.

Mutaciones génicas

En la mayoría de los casos, la replicación ocurre sin errores; sin embargo, algunas veces la secuencia de nucleótidos cambia durante la replicación del ADN. Un cambio en la secuencia de nucleótidos en un gen es llamado una **mutación génica** o **puntual**. Algunas desórdenes causados por mutaciones génicas son, entre otras, el albinismo, la anemia drepanocítica, la fenilcetonuria y la hemofilia.

Tipos de mutaciones génicas o puntuales

Una **mutación génica** ocurre durante la replicación del ADN; la mutación puede involucrar uno o más errores en el proceso de copiado, causando desórdenes en el metabolismo o en la estructura de un organismo. En casos extremos, la mutación génica puede conducir a la muerte; las mutaciones génicas pueden deberse a la adición o supresión de bases nitrogenadas o la sustitución de una base por otra.

Supresión y adición

Una mutación por **supresión** es la pérdida de una o más bases del ADN de un gen; una mutación por **adición** ocurre cuando una o más bases son añadidas al ADN de un gen. Debido a que los ribosomas traducen bases en grupos de tres en tres durante la síntesis de proteínas, si una base es perdida o ganada, la síntesis de proteínas es alterada.

Figura 4.32 Micrografía electrónica de glóbulos rojos normales y de glóbulos rojos falciformes. *¿Qué forma adquieren los glóbulos rojos en la anemia falciforme?*

Sustitución de un par de bases

Una sustitución puede no ser nociva porque simplemente puede cambiar un codón por otro codón para el mismo aminoácido. Por ejemplo, revisando la tabla del código genético, nos podemos dar cuenta que la tercera base de los codones para arginina pueden cambiarse y seguir codificando para arginina. Por ello cualquier sustitución en la tercera base de un codón para la arginina no afectaría a la proteína; la proteína resultante no cambiaría. Alrededor del 30% de todas las mutaciones por sustitución no resultan en cambios de la proteína.

Por otro lado, un codón sustituto puede causar que sea insertado un nuevo aminoácido en lugar del aminoácido usual; la proteína resultante puede no funcionar o puede ser defectuosa. Por ejemplo, una sustitución

de un par de bases en el gen normal para hemoglobina puede producir el gen para hemoglobina anormal, la cual causa la enfermedad conocida como **anemia drepanocítica** o **falciforme**. Esta mutación altera los glóbulos rojos, los cuales adquieren la forma de una hoz, o sea, de media luna. Esta enfermedad es muy grave y puede llegar a ser mortal. Observa la fotografía de la figura 4.32.

El cáncer y las sustancias que lo producen

Hay mutaciones que producen una variación que mejora la función del organismo, en este caso son mutaciones favorables y resultan en adaptaciones de las especies a su ambiente. Esto, evidentemente, es un tema que lo revisaremos en la teoría evolutiva. Otras mutaciones, sin embargo, pueden ser letales, pues tienen como resultado la producción de proteínas deficientes en su función, tal es el caso de la hemoglobina mutada que causa la anemia falciforme. Esto sí puede ser frecuente.

Los factores ambientales contribuyen a mutaciones génicas desfavorables, los **mutágenos** son factores del ambiente que causan mutaciones. Por ejemplo, varias formas de radiación, como los **rayos X** y los **ultravioleta**, son mutágenos bien conocidos. Además, muchas sustancias químicas, tales como las del humo del tabaco, el asbesto, el benceno, y el formaldehído alteran al ADN causando mutaciones. Los mutágenos causan cambios en el mensaje del ADN que pueden ser pasados a las células hijas durante la división celular.

Algunas aplicaciones de la genética

Las aplicaciones tecnológicas en genética hacen posible alterar la herencia de los organismos para adaptarlos a condiciones particulares del ambiente y mejorar los rasgos que pueden hacerlos útiles para nosotros. Hay dos campos donde se aplica la genética, uno de ellos es la genética clásica aplicada y el otro es la ingeniería genética.

Mejoramiento de razas y variedades

La genética clásica aplicada consiste fundamentalmente en el mejoramiento de razas animales y variedades vegetales.

La recolección y siembra de plantas para seleccionar aquellos organismos con mejores cualidades o productividad es un método que data desde la prehistoria. Ademas, el cruce de aquellos organismos seleccionados dio como resultado organismos con características superiores; así se inicia el proceso de los cruces selectivos.Cuando el cruce se realiza entre individuos de parentesco muy cercano, se le llama cruzamiento consanguíneo o endogamia y se realiza con la finalidad de preservar una característica particular en una planta o en un animal. El **cruzamiento consaguíneo** también puede tener algunas desventajas, entre estas se encuentra el aumento de la probabilidad de que se exprese algún rasgo recesivo. Si este rasgo es indeseable, la endogamia puede causar diversos problemas. Por ejemplo, un caso muy común es el de los cruces consanguíneos entre los perros, como los *french poodle* miniatura. ¿Has notado las manchas café oscuras que aparecen en las esquinas de los ojos de esos perritos? Esas manchas son el resultado de la obstrucción de los

ductos lagrimales. La lágrima usualmente fluye en forma natural desde el ojo a la nariz por el ducto lagrimal, de tal manera que la obstrucción obliga a la lágrima a ser expulsada hacia la cara causando esas manchas (figura 4. 33). Ciertamente esto no es dañino para el poodle, pero sí hay otros problemas producidos por la consanguinidad tales como, hombros dislocados, epilepsia, diabetes y colapso de la tráquea. La salud de esos perros es mejor a medida que disminuye la endogamia.



Figura 4.33 Observa las manchas que aparecen cerca de los ojos de esta perrita *french poodle* debido a problemas de consanguinidad.

Otra finalidad de realizar los cruces selectivos es la de obtener nuevas variedades de organismos por **hibridación**, estos se realizan cruzando dos especies diferentes o cruzando dos individuos de la misma especie pero de diferente raza. Por ejemplo, el perro de la raza *bul-mastín* es producto híbrido logrado por el ser humano mediante el cruce de dos razas: el mastín y el buldog. El *bul-mastín* presenta las cualidades deseables de los dos progenitores, por lo cual, resultó un perro muy útil para la protección del ganado y de las tierras. La hibridación es un proceso de primer importancia en la producción de alimento de origen vegetal y ha salvado a la humanidad. Los casos del maíz, el trigo, el sorgo, el arroz que ya han sido hibridizados, han permitido una sensible elevación de los rendimientos en la productividad de estos productos alimenticios.

Otra de las aplicaciones importantes de la genética es la inducción de la **poliploidía**, condición en la cual, las células tienen más de dos conjuntos de cromosomas. La poliploidía es muy rara en los animales y cuando llega a darse, es mortal. Sin embargo, en el caso de los vegetales, la poliploidía es un proceso que resulta -muchas veces- en características favorables, y además, son fértiles. Las plantas poliploides pueden ser más grandes, tener flores y frutos más grandes que el tamaño de las originales. La poliploidía puede ocurrir en forma natural en las plantas y puede ser el origen de nuevas especies. Los fitomejoradores que se dedican a la producción de plantas poliploides han desarrollado la técnica de la colchicina. Si se aplica colchicina en la raíz de la planta se induce la poliploidía. La colchicina se aplica en la raíz porque es un tejido en división celular constante y esta sustancia impide que la célula se divida después de que se ha duplicado el número de cromosomas durante la mitosis. Esto da como consecuencia la duplicación del número cromosómico. En realidad, muchos productos alimenticios vegetales son poliploides. El tomate "gordo" es poliploide, así como muchas variedades de uvas, fresas, trigo, repollo, etcétera.

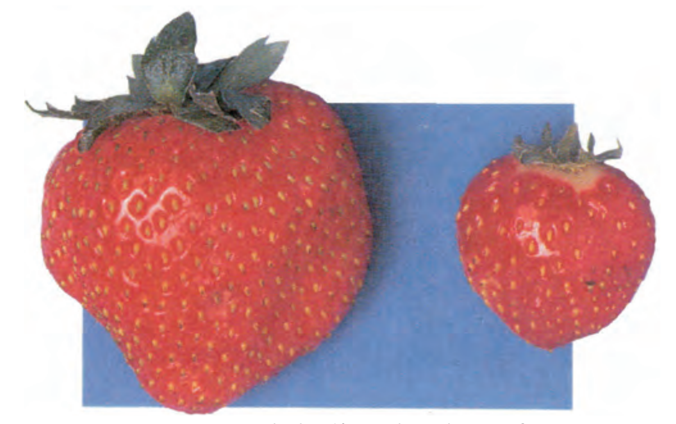


Figura 4.34 La poliploidía en las plantas frecuentemente produce individuos más vigorosos y de mayor tamaño. La fresa de la izquierda es poliploide, compárala con la fresa normal.

Ingeniería genética

Cuando se aplican los conocimientos básicos de una ciencia para producir materiales útiles al ser humano para cubrir las necesidades propias, se desarrollan las tecnologías y la ingeniería. Así con la aplicación de los conocimientos de la bioquímica, la microbiología, la genética y la ingeniería química, se ha desarrollado todo un campo tecnológico nunca antes visto, la **ingeniería genética**. La Ingeniería genética es el uso de técnicas bioquímicas especiales para identificar, estudiar o modificar genes. Algunas técnicas de la ingeniería génetica involucran la combinación del ADN de genes de diferentes organismos.

Por ejemplo, se han transferido genes humanos a las bacterias, haciendo posible que la bacteria produzca proteínas útiles para los humanos El nuevo ADN que resulta de incorporar componentes de diferentes organismos es llamado **ADN recombinante**. La insulina y la hormona del crecimiento, son dos proteínas que han sido sintetizadas a partir de ADN recombinante.

El ADN de los organismos eucariotas, es más complejo que el de las bacterias, las cuales como recordarás son procariotas. Antes de que un gen de una célula eucariótica sea transferido a una bacteria, el ADN eucariótico debe ser simplificado, puesto que no puede traducir un ADN complejo. Los científicos han transferido genes al interior de microorganismos eucariotas como las levaduras en lugar de las bacterias. Por ser las levaduras hongos unicelulares eucarióticos, pueden traducir el ADN de otros eucariotes. De esta forma, los investigadores produjeron la primera vacuna humana, usando células de levadura. Esta es la vacuna de la hepatitis B. La hepatitis B es una infección viral potencialmente fatal en el hígado. Los científicos, también, han insertado genes en células de plantas y animales pluricelulares. Por ejemplo, a ciertas plantas se les ha insertado genes que les permite resistir la acción de los herbicidas.

Para transferir ADN al interior de una célula, los científicos usan un transportador especial llamado vector. En ingeniería genética, un vector es un **transportador** de material genético. Las bacterias no poseen núcleo celular, por lo que el material genético se encuentra libre en el citoplasma en cromosomas y en pequeñas porciones circulares de ADN llamadas **plásmidos**. Los plásmidos son vectores, ya que ellos pueden llevar ADN al interior de las células. Los científicos, también, han usado virus como vectores para transferir ADN a otras células.

Transferencia de genes

Las bacterias pueden ser usadas para producir materiales biológicos como la insulina, que es una hormona que normalmente es producida en el páncreas y que ayuda a controlar la cantidad de azúcar en nuestra sangre. Para producir insulina, los plásmidos son aislados de las bacterias. Los ingenieros genéticos usan una enzima para cortar el plásmido y el ADN humano en fragmentos. Los fragmentos son, ligados por otra enzima, causando que el gen para insulina humana sea insertado en el plásmido bacteriano. La bacteria que contenga el plásmido producirá la insulina humana.

El siguiente procedimiento es un buen ejemplo de como trabajan los ingenieros genéticos para producir insulina humana: El fragmento de ADN humano tiene el gen para la insulina.

El plásmido fue cortado en la parte media del gen responsable de la resistencia al antibiótico tetraciclina. Una enzima es usada para ligar la terminal del ADN del plásmido con el gen de la insulina humana. Si el gen de la insulina es insertado en el gen de la resistencia a la tetraciclina, el gen de la

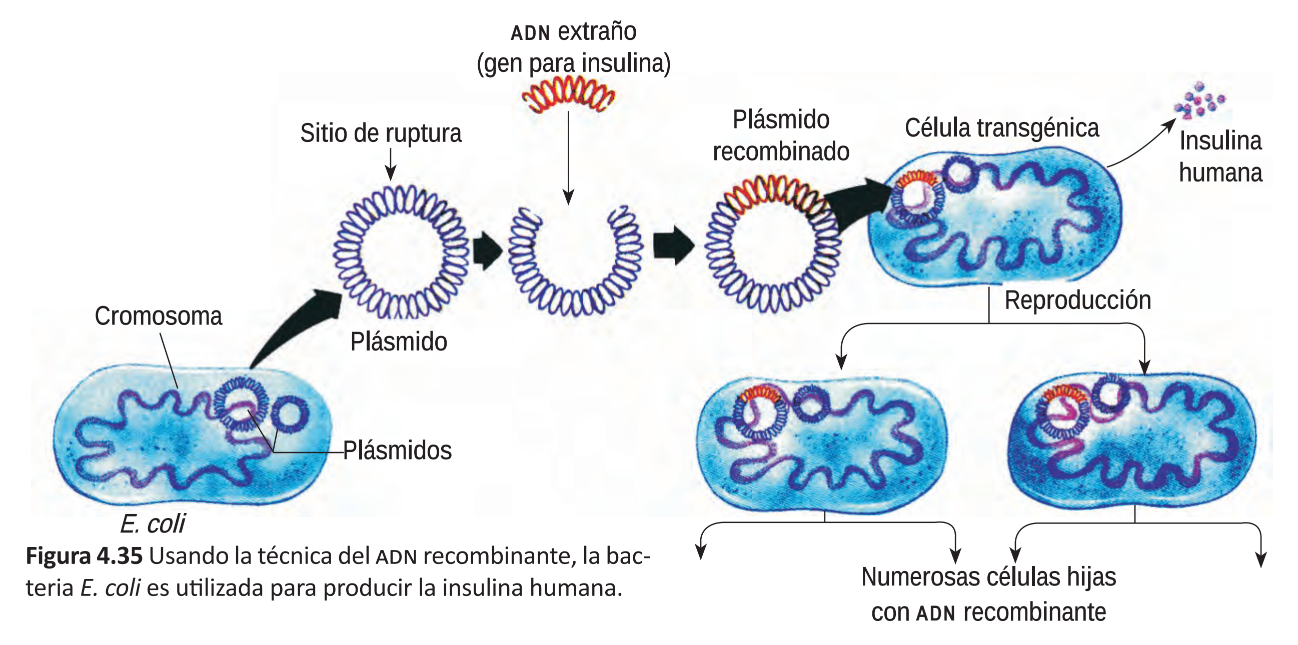


Figura 4.35 Usando la técnica del ADN recombinante, la bacteria *E. coli* es utilizada para producir la insulina humana.

tetraciclina no tendrá ya dicha función. Esta pérdida de resistencia frente al antibiótico indica a los científicos cual plásmido captó el gen de la insulina. Los plásmidos son insertados en las bacterias. Las bacterias crecen en placas especiales para identificar a aquellas portadoras de la insulina. Estas bacterias se reproducen libremente en tubos de ensayo y producen insulina humana (figura 4.35) La insulina es aislada y purificada para usarse en el tratamiento médico de pacientes diabéticos. En el pasado, la insulina se extraía del páncreas del cerdo o de la vaca, siendo escasa y cara.

La primera transferencia exitosa de un gen ocurrió en 1973, actualmente se está trabajando en casi todas las ramas de la biología con la ingeniería genética.

Aplicaciones en la agricultura

Diversos campos productivos han sido objeto de desarrollo usando las técnicas de la ingeniería genética; así, el mejoramiento de la calidad y la cantidad de los alimentos de origen vegetal ha hecho posible un nuevo desarrollo de la agricultura. Por ejemplo, se han producido varios tipos de nuevas bacterias que ayudan a incrementar la producción de cosechas; una bacteria alterada genéticamente ayuda a algunas plantas a resistir daños por congelación. También, algunas bacterias como *Agrobacterium* pueden ser portadoras de genes selectos y ser usadas para modificar plantas.

Aplicacion en la industria

La utilización de microorganismos para elaborar ciertos productos como quesos, vinos, pan, yogurt y otros, es conocida desde la antigüedad. La ingeniería genética puede, ahora, ayudar a mejorar la producción y calidad de estos productos usando las técnicas del ADN recombinante para alterar las características de los microorganismos utilizados.

Otro de los campos en donde se está trabajando es el de los servicios públicos. Por ejemplo, científicos de varios laboratorios están trabajando en el mejoramiento de bacterias que puedan ayudar en el proceso de depuración de aguas negras. Incluso, considerando la escases de energéticos, se han producido bacterias modificadas que transforman la celulosa en combustible.

Aplicaciones en la medicina

El área en la cual la ingeniería genética más ha influido en la vida humana es la medicina. Uno de los primeros productos médicos producidos con las nuevas técnicas es la insulina, que es una hormona que regula el metabolismo de azúcares en el cuerpo. Si un organismo falla en la producción de suficiente insulina por parte de las células pancreáticas, o si las células de ese organismo no pueden incorporar suficiente insulina, se desarrolla una condición llamada *diabetes mellitus*.

Anteriormente, los médicos trataban a los diabéticos con insulina obtenida de extractos pancreáticos del cerdo y la vaca, pero esa insulina puede producir reacciones alérgicas en algunos pacientes. Actualmente, la ingeniería genética ha aportado diferentes formas de producirla al insertar el gen humano responsable de la producción de la insulina en los plásmidos bacterianos. La bacteria sujeta a esta inserción empieza a producir insulina idéntica a la humana, que no causa reacciones alérgicas.

El interferón es una proteína producida por las células cuando estas son atacadas por virus, por lo que es utilizado como un medicamento antiviral. Hasta hace algunos años era difícil obtener el interferón humano; hoy es producido también por el uso de plásmidos bacterianos y células de levaduras.

Se han desarrollado muchos otros productos como algunas vacunas y la hormona del crecimiento. Bacterias alteradas genéticamente pueden producir factores de crecimiento celular que ayuda a los pacientes anémicos a producir células sanguíneas. Otros nuevos productos pueden disolver coágulos sanguíneos en los pacientes con ataques al corazón.

Organismos transgénicos

Los científicos han logrado conocer las bases más importantes de los procesos hereditarios, y falta mucho por conocer; pero también esos conocimientos los han usado para desarrollar proyectos de investigación verdaderamente ambiciosos, como el de modificar a los seres vivos. El ser humano, como nos dice el Dr. Jesús Kumate, por la tecnología que procede de la ciencia, tiene más poderes que Prometeo. Ha concentrado tanto poder tecnológico, científico y económico… que hasta puede destruir la vida en la Tierra (entrevista en El Sol de Sinaloa, 10 de Junio del 2007). Expresiones como estas son comunes entre aquellos que están preocupados por el uso precipitado de los adelantos en la ciencia. El caso de los organismos transgénicos es un ejemplo de ello.

Los **organismos transgénicos** también llamados organismos genéticamente modificados, son organismos a los cuales, por técnicas de laboratorio conocidas como ingeniería genética, se les introduce un gen de otro organismo. El gen extraño puede provenir de otro organismo de una especie vecina, pero también de otro organismo que pertenezca a un reino diferente (animal, vegetal, hongos, protistas, o bacterias). Esto es un “cruce” muy sofisticado entre especies de diferentes reinos en la que se utiliza tecnología avanzada para modificar las características originales del organismo.

El nombre de organismos transgénicos se debe a que los genes introducidos se conocen como transgenes. Ya se han hecho estos cruces génicos, por ejemplo, un maíz con genes de bacteria, un cerdo con genes de humano o una fresa con genes de un pez.

Los humanos utilizando los conocimientos que nos legaron científicos como Mendel estamos modificando el curso de la vida y creando seres vivos que nunca han existido de manera natural.

Algunos adelantos en ingeniería genética son benéficos, como es el caso de las **bacterias transgénicas** que producen sustancias como la insulina, la hormona del crecimiento y el factor de coagulación que sirven para tratar enfermedades.

Existen los **animales transgénicos**. Se han producido ratones con genes humanos para estudiar el efecto de enfermedades en el sistema inmunológico humano. Hay ganado transgénico que lleva copias adicionales de genes de la hormona del crecimiento. Estos animales crecen más rápido y producen más carne que los animales comunes. La generación de animales transgénicos como las vacas, abre la posibilidad en un futuro de producir en la leche grandes cantidades de proteínas de importancia farmacéutica.

Las **plantas transgénicas** como soya y maíz se les han insertado un gene que produce una proteína que es tóxica para los insectos que puedan significar plagas para los cultivos agrícolas. También se han obtenido plantas resistentes a virus como el del mosaico del tabaco, donde la planta produce proteínas que inhiben la infección por el virus. Además se han desarrollado plantas transgénicas que mejoran las cualidades nutricionales de la planta o los colores de sus flores en el caso de las ornamentales.

Los problemas que se han presentado por el uso de los transgénicos son muchos. En primer lugar, es un clamor de muchísimos investigadores que los transgénicos se han lanzado como productos comerciales seguros cuando aún no se saben muchas cosas de ellos, es decir, que consecuencias puede haber en la salud del hombre, o que daños puedan producir a los animales y vegetales silvestres. Por ejemplo, esa proteína que produce el maíz transgénico puede desarrollar alergias en las personas que lo consuman. En el medio ambiente también puede haber contaminación. Es muy ilustrativo el caso de que una gran empresa multinacional de transgénicos ha demandado a ejidatarios que tienen sus cultivos adyacentes a los de transgénicos que por causa del viento el polen transgénico ha fertilizado variedades locales. Cuando esas grandes empresas han analizado los productos de los ejidatarios adyacentes les han encontrado fragmentos de sus transgénicos, lo que ha motivado demandas en contra de los ejidatarios, que por demás son gente pobre que no puede enfrentar la presión de los grandes capitales mundiales. Es el ejidatario el que debería de demandar a las grandes empresas trasnacionales por contaminar sus variedades naturales.

Clonación

La **clonación** es la elaboración de una copia exacta de un organismo. Así, los genes y todas las partes del clon son idénticas a aquellas del organismo original. Los científicos han estado trabajando en reproducir copias genéticas exactas de animales desde la década de 1950.

Es en 1996 cuando se logra duplicar un mamífero a partir de un adulto, obteniéndose la primera oveja clonada, la cual fue nombrada Dolly. Este fue el resultado



Figura 4.36 La oveja Dolly, el primer mamífero clonado, se aprecia con su primer cría “Bonnie”. Dolly es sacrificada a los 6 años de edad, ya que la aquejaba una enfermedad pulmonar común en ovejas viejas.

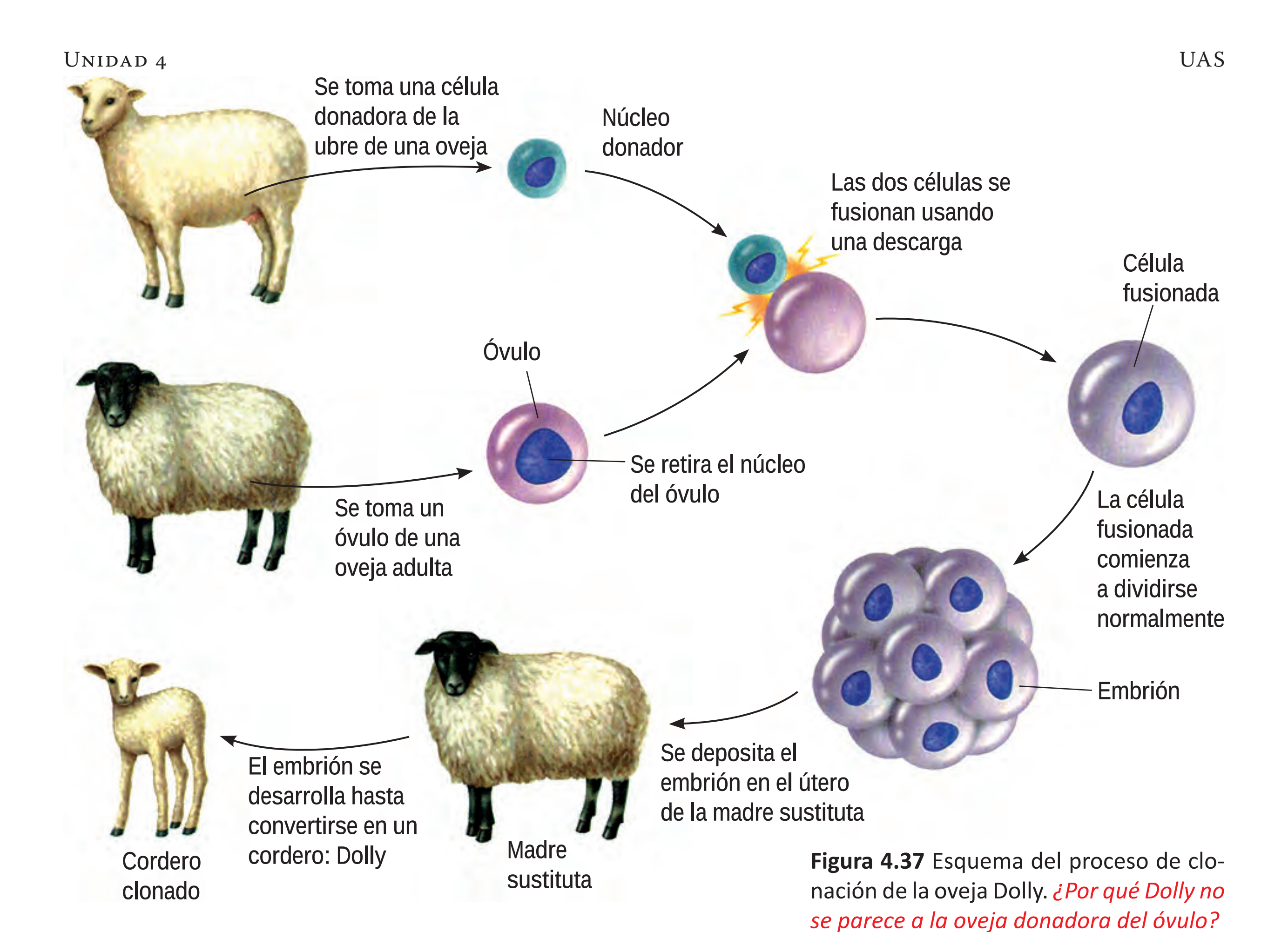


Figura 4.37 Esquema del proceso de clonación de la oveja Dolly. *¿Por qué Dolly no se parece a la oveja donadora del óvulo?*

del trabajo de los científicos del Instituto Roslin de Escocia y del PPL Therapeutic Inc. Se llevaron a cabo 300 experimentos antes de lograr la clonación de Dolly.

La técnica de clonación con la que se obtuvo a Dolly es la siguiente: consiste en tomar un óvulo sin fertilizar, quitarle el núcleo (contiene la mayor parte de la información genética) y reemplazarlo por el núcleo de una célula adulta. La característica primordial para escoger dicha célula es que se encuentre en interfase. Lo difícil es "engañar" a ese óvulo para que se comporte como si hubiese sido fertilizado por un espermatozoide y empiece a dividirse para generar un embrión, en lugar de crear más células de piel o hígado o de cualquier otro órgano de donde se obtuvo ese núcleo.

Terapia génica

La ingeniería genética ha tenido en los últimos años grandes avances que han permitido mediante la tecnología del ADN recombinante implementar la **terapia génica**.

La **terapia génica** es la utilización médica del ADN para corregir enfermedades genéticas, enfrentar infecciones virales como el SIDA y detener enfermedades neurodegenerativas. Existen más de 4 mil enfermedades genéticas causadas por defectos en un solo gen, como la fibrosis quística, la hemofilia, la anemia falciforme y la distrofia muscular. Otras enfermedades como el cáncer, la artritis y el asma, tienen que ver con el funcionamiento deficiente de varios genes.

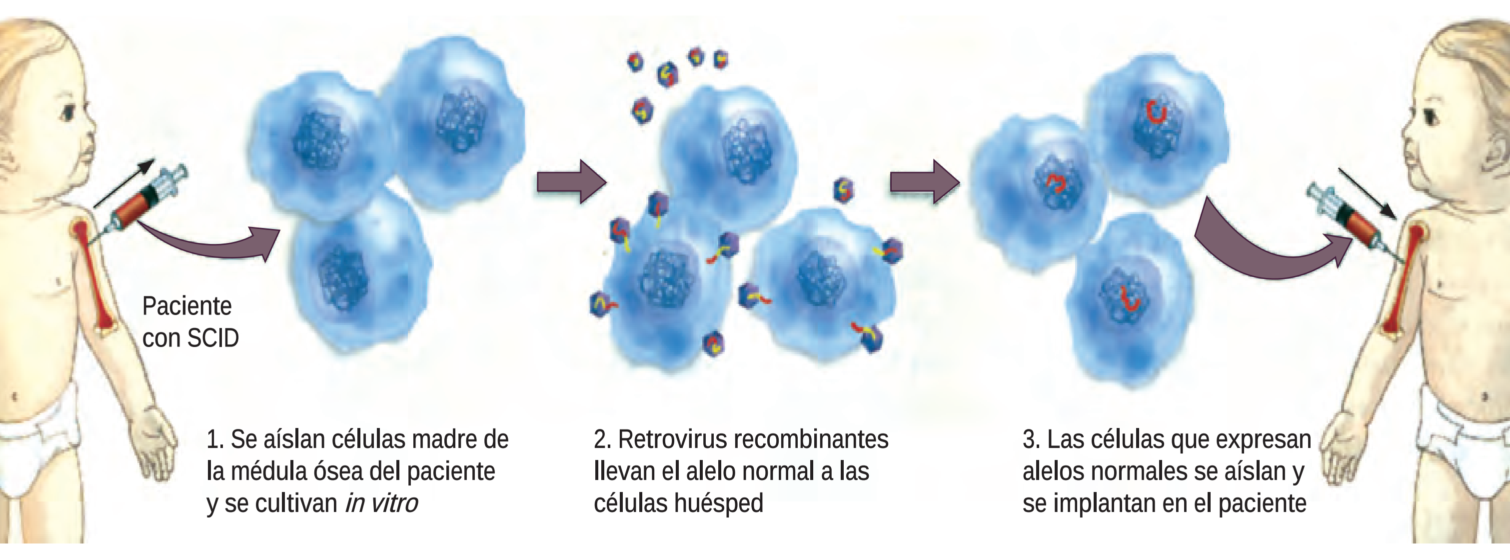


Figura 4.38 Para que la terapia génica funcione se tienen que introducir copias de un gen normal en las células del paciente y las copias tienen que expresarse, es decir, se debe sintetizar la proteína de la cual se carece y causa la enfermedad.

A pesar de que la terapia génica tiene sus inicios en 1990, todavía en la actualidad se encuentra en la etapa de investigación, en ensayo, para tratar estas y muchas otras enfermedades. Hoy en día varios países están realizando numerosos ensayos clínicos de terapia génica en seres humanos cuyos resultados presentan distinto grado de éxito. Existen algunos reportes de pacientes que han fallecido durante el tratamiento.

La mayoría de los ensayos o tratamientos de terapia génica consisten en introducir genes normales y funcionales en células del paciente con el fin de reemplazar el gen ausente o defectuoso, para que así el organismo pueda producir la proteína o enzima que necesita y cuya carencia causa la enfermedad.

La terapia génica es un área de investigación que promete mucho, pero que todavía presenta una serie de dificultades que no permiten que se logre una terapia génica satisfactoria como se ha mencionado anteriormente. Una de estas dificultades es la incorporación del gen en buenas condiciones de funcionamiento en un gran número de células del paciente. Los genes se insertan en las células utilizando transportadores o vectores como los virus. Los cuales son atacados por el sistema inmunitario del paciente lo que ha limitado el éxito de este proceso. Otro problema a resolver por los investigadores es que el gen debe de expresarse eficientemente, es decir, debe de producir una cantidad suficiente de proteína que ayude a vencer a la enfermedad. Pero sucede con mucha frecuencia que las células del paciente modifican el gen de tal manera que la proteína no se elabora.

Actualmente una de las enfermedades tratadas con terapia génica es la inmunodeficiencia combinada grave (SCID). En la mayoría de los niños tratados se han obtenido excelentes resultados. Los niños nacidos con SCID no tienen un sistema inmunitario normal y son incapaces de combatir cualquier tipo de infección ya sea bacteriana o viral. Por eso estos niños deben de vivir en un entorno estéril. Durante mucho tiempo estos niños fueron conocidos como los “niños burbuja” ya que vivian en un cuarto estéril conocido como burbuja. Esta enfermedad es causada por mutaciones en un gen del cromosoma X. El gen codifica una proteína necesaria para el desarrollo de células del sistema inmunitario. En la mayoría de los niños tratados se han obtenido excelentes resultados.

Estudio de la herencia

El estudio de los patrones de herencia en el humano es difícil debido a que se tiene poca descendencia y, además, madura lentamente. Para seguir las líneas de herencia se requiere varios años dado el largo período de vida; muchos años pasan entre una generación y la siguiente. Es posible experimentar e investigar acerca de los patrones de herencia de plantas y animales, mientras que está fuertemente restringido experimentar con humanos. En muchos países existen leyes que prohíben experimentar directamente con el hombre por consideraciones éticas y porque puede haber resultados impredecibles e irreversibles. Recientemente se han desarrollado técnicas que permiten a los investigadores estudiar a los genes directamente. Como resultado de estas investigaciones se ha conformado una nueva rama que se conoce como **genética humana**, que comprende conocimientos acerca de los patrones hereditarios a nivel de poblaciones humanas y de familias.

Árbol genealógico

Una forma en que se puede dar un seguimiento acerca de ciertas características hereditarias que se quieren investigar, a nivel familiar es elaborando los **árboles familiares** o **árboles genealógicos** para determinar los patrones de herencia en el ser humano. Un árbol genealógico es un mapa que muestra cómo una característica, y los genes que la controlan, son heredados en una familia. Para desarrollar un árbol genealógico, se recoge toda la información posible acerca de la historia hereditaria de la familia, describiendo como se ha transmitido cierta característica entre los padres, hijos y otras generaciones.

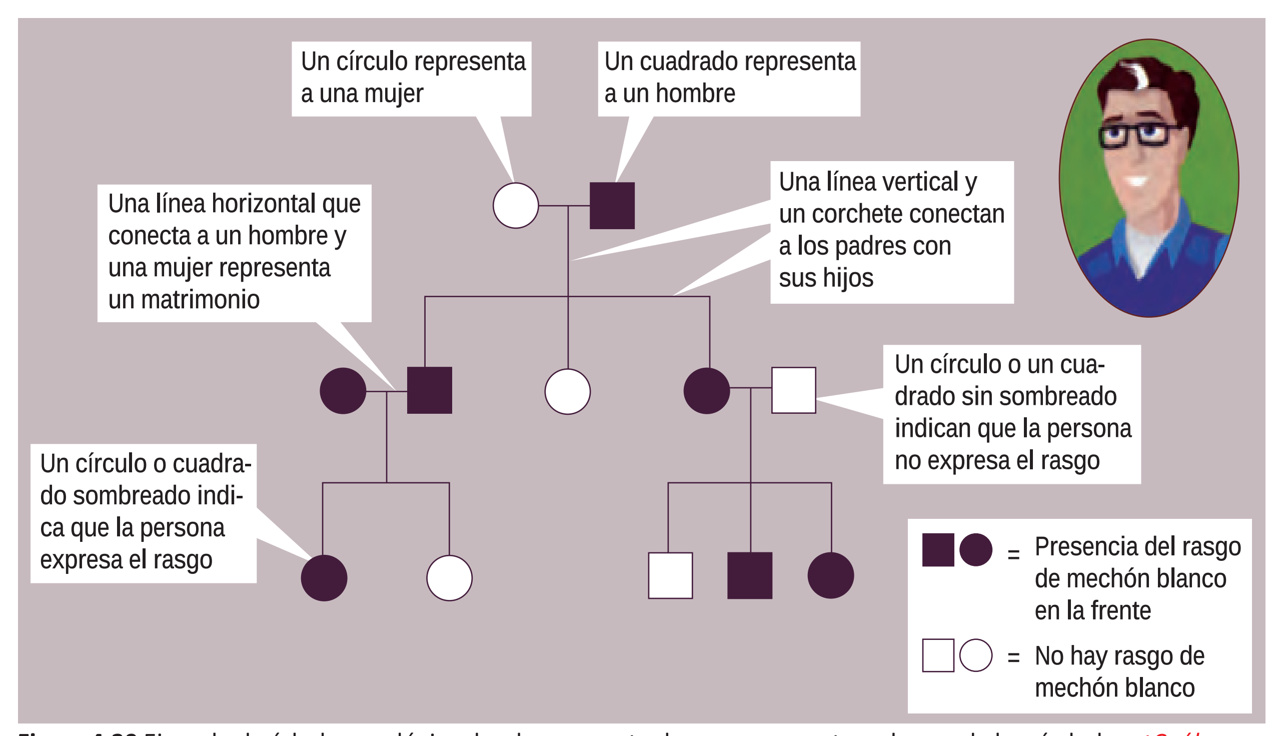


Figura 4.39 Ejemplo de árbol genealógico donde se muestra lo que representa cada uno de los símbolos. *¿Cuáles son los genotipos de los dos progenitores de la primera fila? ¿Cómo lo sabes?*

Cariotipo

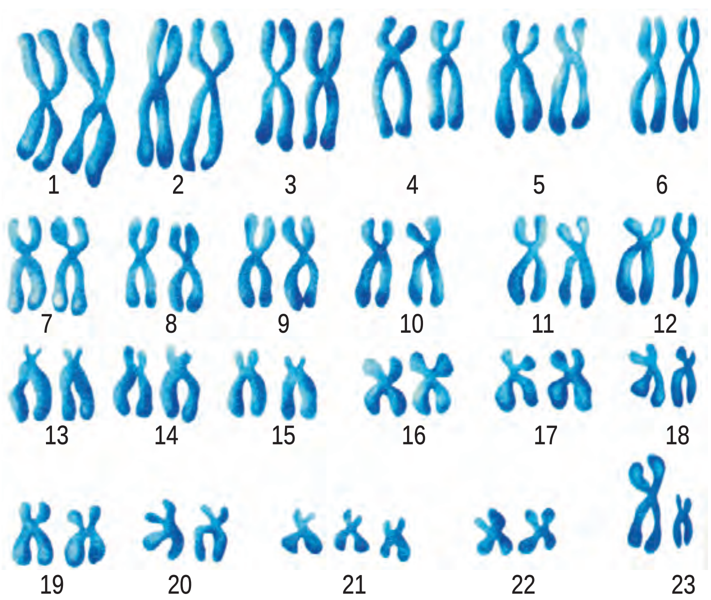


Figura 4.40 Cariotipo humano. *¿Qué tipo de síndrome padece la persona a la que pertenece este cariotipo? ¿Cuál es su sexo?*

Otra forma de investigar la herencia humana es estudiando los cromosomas directamente. Un **cariotipo** muestra todos los cromosomas homólogos agrupados en pares y ordenados por tamaño decreciente. Para hacer un cariotipo, primero se obtienen células sanguíneas de una persona; usualmente son usados los leucocitos y tratados con reactivos químicos que estimulan la mitosis. Después de que las células han crecido durante varios días en un medio especial, son expuestos a otra solución para detener la mitosis en la etapa de metafase. En esta etapa, los cromosomas individuales son fáciles de aislar, teñir y fotografiar a través de un microscopio especial; se corta entonces la fotografía, según sean los cromosomas, y se arreglan los homólogos en pares y se ordenan en tamaño decreciente. Se inicia con los cromosomas más grandes. Un cariotipo puede ser usado para detectar anormalidades visibles, por ejemplo, el cariotipo puede mostrar si una persona tiene cromosomas de más o de menos, tal es el caso del **síndrome de Down**, que tiene un cromosoma de más en el par 21. También sucede con los hombres con el **síndrome de Klinefelter**, que tienen un cromosoma sexual X de más; el **síndrome de Turner** se presenta en mujeres que les falta un cromosoma sexual X. Observa el cariotipo mostrado en la figura 4.40.

Técnicas moleculares. El Proyecto Genoma Humano

A través de la historia, el ser humano ha tratado de estudiarse y entenderse a sí mismo, cada vez mejor y con mayor detalle, así como a su medio ambiente.[1] Antiguamente para lograr éste objetivo, los anatomistas disecaban cadáveres humanos para describir, estudiar y entender el funcionamiento de nuestro organismo; por ello sabemos, como son y como funcionan nuestros órganos y sistemas anatómicos. A partir de que se descubrieron las moléculas y se empezaron a usar las leyes de la física y de la bioquímica, los científicos empezaron a buscar la forma de tener un conocimiento más profundo de nosotros mismos que jamás hayamos tenido: la información genética ó genoma humano.[2]

¿Qué es el genoma humano? Es una enciclopedia de toda la información hereditaria que poseemos como especie. Para tener una idea clara usemos una similitud con la construcción y el funcionamiento de una casa que seríamos nosotros mismos. Para poder construirla necesitamos

---

[1] Riesgo Juan R. *Qué es el genoma humano*. Revista **Ciencia**. Enero-Marzo 2002, p. 6-11.

[2] Reynaud E. *La punta del iceberg.* Revista ***¿Cómo vés?*** Núm. 37.

información sobre los materiales necesarios y donde podemos encontrarlos, y en algunos casos sobre la manera de elaborarlos a partir de otros materiales sencillos -como la mezcla para pegar ladrillos, pinturas- y el modo de aplicarlos; además hay que tener conocimientos de resistencia de los materiales, hidráulica y diseño. Todos esos son conocimientos que aplicaremos según las condiciones del terreno y del medio ambiente.

El genoma, en esta similitud, ocupa el lugar de los libros y es donde se indica como se construye y se pone a funcionar al genéro humano. Los libros del genoma están escritos en un idioma: el idioma de la genética y tiene su sustento en una sustancia química: el ADN.

En la célula, toda la información genética para hacer otra célula u organismo igual está contenida en el genoma.

En años recientes, la genética a avanzado espectacularmente, de tal forma, que en 1990 se inició una gran investigación: el **Proyecto Internacional del Genoma Humano**, encaminado a averiguar el pequeño sitio donde están situados nuestros genes en un cromosoma, es decir, desarrollar un mapa de localización de nuestros genes; y conocer la secuencia de los poco más de 3 mil millones de pares de bases que forma el genoma humano haploide[3]. Otras metas de este proyecto fueron secuenciar los genomas de organismos modelo pra interpretar el ADN humano, desarrollar tecnologías que apoyarán la investigación, explorar las funciones de los genes y capacitar a futuros científicos.

Finalmente, los primeros resultados de la investigación del Proyecto del Genoma Humano se publicaron el 15 de febrero del 2001 en la revistas Nature y Science. La secuencia completa del genoma humano queda terminada en abril del 2003, marcando así el final de este proyecto. Se concluye que el genoma humano haploide se compone aproximadamente de 3 mil 200 millones de pares de bases y se calcula que tenemos entre 30 y 40 mil genes. En realidad estos resultados nos conducen a enfrentar una serie de retos, en primer lugar se tendrá que averiguar para que sirven todos estos genes, pues no se tiene idea de la función del 40% de los genes que se han identificado en la secuencia del genoma humano.

Es importante que apreciemos que el conocimiento adquirido recientemente sobre el genoma humano es un hecho trascendental para toda la cultura humana.[4]

Actualmente se trabaja en el **Proyecto Genomas 1000**, que inició en 2008, el cuál estudiará el genoma de mil personas para producir un catálago detallado de la variación humana. Se espera que la información que se obtenga revele datos para elaborar nuevos medicamentos y terapias contra mucchas enfermedades humanas.



Figura 4.41 Portada de las revistas científicas Science y Nature donde se publicaron los primeros detalles del genoma humano.

[3] Lisker Ruben. *Qué es el Proyecto Internacional del Genoma Humano*. revista **Ciencia**, enero-marzo, 2002.
[4] Calva E. *El genoma humano.* Revista ***¿Cómo ves?,*** Núm. 37

Autoevaluación

Repaso de la unidad

Contesta las siguientes preguntas:

1. ¿Qué pasos fundamentales realizó Mendel para tener éxito en sus experimentos?

   ____

2. ¿Por qué concluyó Mendel que los rasgos están controlados por pares de factores?

   ____

3. ¿Qué es lo que establece la ley de la segregación y la ley de la distribución independiente?

   ____

   ____

4. ¿Qué significaban para Mendel los términos dominante y recesivo?

   ____

5. ¿Por qué los organismos pueden tener diferentes genotipos pero el mismo fenotipo?

   ____

6. ¿Cuál es la diferencia entre un organismo homocigótico y uno heterocigótico para cierta característica?

   ____

7. ¿En qué difiere la herencia de los tipos de sangre de la herencia del color de la piel?

   ____

8. ¿Qué es un gen?

   ____

9. ¿Qué partes son idénticas en todos los nucleótidos?

   ____

10. ¿Qué es un cariotipo?

    ____

11. ¿De qué manera la tecnología del ADN recombinante ha beneficiado a la humanidad?

    ____

12. ¿Qué es la clonación?

    ____

Completa los espacios en blanco de los siguientes enunciados:

13. Las características que se pueden observar en un individuo constituyen su__________.
14. Un _______ es un segmento de ADN situado en un lugar específico de un cromosoma y constituye la unidad de herencia.
15. En el cariotipo de un niño con síndrome de Down se ven tres copias del _____________.

Indica cual de las siguientes afirmaciones son verdaderas (v) o falsas (f).

16. La ley de la segregación de Mendel establece que cada par de alelos se separa durante la meiosis ( )
17. A la constitución genética de un organismo se le llama fenotipo ( )
18. Cuando en un organismo los dos genes de un par son idénticos se dice que es homocigótico para esa característica ( )
19. A la trisomía en el cromosoma 21 en humanos se le conoce como síndrome de Klinefelter ( )
20. La teoría cromosómica de la herencia dice que las histonas son los portadores de los genes ( )
21. Las características controladas por más de dos pares de genes, son consecuencia de la herencia poligénica ( )
22. Los autosomas son los cromosomas que determinan el sexo ( )
23. El reacomodo de genes en nuevas combinaciones por entrecruzamiento, es llamada recombinación genética ( )

En la siguiente sopa de letras, localiza la respuesta de lo que se te pide:

24. Proceso mediante el cual el ADN hace copias de sí mismo.
25. Célula que tiene más de dos conjuntos de cromosomas.
26. Es la pérdida de una parte de cromosoma.
27. Son organismos genéticamente modificados.
28. Es el código de tres bases nitrogenadas en el ADN o en el ARNm.
29. Observó que en el ADN, la cantidad de adeninas es siempre igual al de timinas y la cantidad de citocinas es igual al de guaninas.
30. Es una característica influenciada por el sexo.
31. Es una base nitrogenada púrica.
32. Ácido nucleico de cadena sencilla.
33. Síndrome causado por un cromosoma extra en el varón.

T	R	A	N	S	G	E	N	I	C	O	S
A	E	D	E	Y	I	N	O	N	O	B	U
C	P	E	R	N	B	E	B	I	D	A	B
H	L	N	V	A	R	N	E	W	O	T	E
A	I	I	F	A	B	U	L	O	N	A	S
R	C	N	A	C	I	O	N	A	L	E	S
G	A	A	T	D	E	L	E	C	I	O	N
A	C	R	C	A	L	V	I	C	I	E	J
F	I	P	O	L	I	P	L	O	I	D	E
E	O	R	T	U	N	A	T	O	A	L	M
U	N	I	F	O	R	M	E	P	R	O	F
K	L	I	N	E	F	E	L	T	E	R	E

Aplicación de conceptos

34. ¿Qué cruza harías para determinar si un conejo negro es homocigótico negro o heterocigótico negro?____

35. ¿Por qué un criador de caballos pagaría una gran cantidad de dinero para cruzar a una hembra con un semental ganador de pura sangre ?

____

36. La relación fenotípica de una cruza que involucra coballos negros y coballos blancos es de 1 negro: 1 blanco ¿Cuáles son los posibles genotipos de los padres? Usa el cuadro de Punnett para apoyar tu respuesta.

____

____

37. Es posible que una mujer con sangre tipo AB y un hombre con sangre tipo B tengan hijos con sangre tipo A. Usa un cuadro de Punnett para explicar tu respuesta.

____

____

38. La capacidad de doblar la lengua en forma de U se controla mediante un gen dominante (R).
a) ¿Qué genotipos se producirían si se apareara un individuo homocigoto dominante con un individuo recesivo?____
b) ¿Qué porcentaje de los hijos F_1 podría doblar la lengua ?_________________________

39. En la reserva de Manantlán, en el estado de Jalisco, se descubrió una especie silvestre de maíz que produce mazorcas todo el año. ¿Por qué puede ser éste un descubrimiento importante para nuestro país? ____

____



Huevos fósiles llamados *Macroelongatoolithus xixiaensis*: son los huevos más grandes de dinosaurio encontrados. El nombre refleja su alargada figura y descubrimiento en Xixia, China. Miden 46 cm de largo.



Evolución orgánica

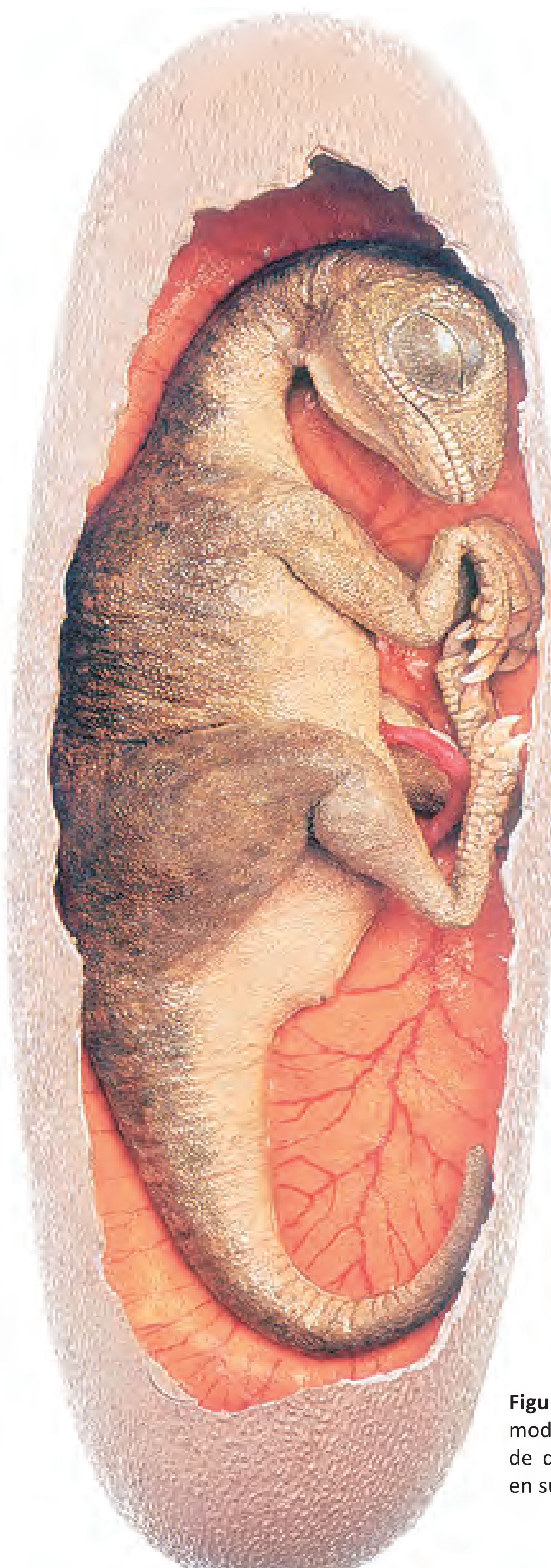


Figura 5.1 Maravilloso modelo de un embrión de dinosaurio, basado en sus restos fósiles.

Evolución orgánica

Introducción

En la edad media y hasta mediados del siglo XIX, se creía que el mundo era constante y que existía desde hacía mucho tiempo. Pero la credibilidad de esta visión religiosa se había debilitado ya en algunos campos debido a una serie de avances científicos. El primero fue la revolución copernicana, que "desplazó" a la Tierra y sus habitantes humanos del centro a la periferia del universo; el segundo, las investigaciones de los geólogos que revelaron la gran edad de la Tierra; el tercero, el descubrimiento de fósiles de animales extinguidos que descartaba la teoría de que la vida sobre la Tierra no había cambiado desde la creación.

Una de las objeciones que pusieron los primeros adversarios de Darwin a la teoría de la evolución, fue que, aunque había explicado que unos organismos derivan de otros, no había explicado el origen de la vida misma a partir de la materia inanimada.

El tema del origen de la vida es muy complicado, pero ya no es el misterio que prevaleció en el período inmediatamente posterior a Darwin. De hecho, ya no existe ninguna dificultad fundamental para explicar, basándose en leyes físicas y químicas, el origen de la vida a partir de la materia inanimada.[1]

[1] Mayr Ernst (1998) *Así es la Biología*. Ed. Unigraf, Madrid.

Historia de la vida

Hipótesis de la generación espontánea

Desde la antigüedad hasta hace poco menos de un siglo, el ser humano no tenía dificultad para hablar acerca del origen de la vida, simplemente se creía que la vida inició de la materia inanimada y que esto seguía sucediendo como un proceso continuo. Por ejemplo, pensaba que las larvas de los cuerpos en animales muertos se formaban de los cuerpos en descomposición; que los insectos salían de la madera, de hojas secas, incluso, hasta del pelo de los caballos. Se llegó a decir que las ranas y los peces se desarrollaban en las nubes y caían a la tierra con la lluvia. Aun más, los científicos de aquellos tiempos creían que muchos tipos de materia inerte contenían una propiedad que daba vida llamada "principio activo". Se pensaba que por esta propiedad la materia inanimada producía seres vivos en cualquier momento.

La hipótesis de que la vida podría venir de la materia inerte es llamada generación espontánea.

Desacuerdos con la generación espontánea

En 1668, el médico italiano **Francisco Redi** realizó un sencillo y bien diseñado experimento para poner a prueba la idea de la generación espontánea. En virtud de que se decía que las moscas provenían de la carne podrida, Redi observó cuidadosamente algunos restos de carne, observando que las moscas llegaban a los trozos de carne descompuesta y depositaban huevecillos que, posteriormente, se desarrollaban en larvas y luego en nuevas moscas. Redi preparó varios frascos donde depositó carne cruda; cubrió algunos frascos con tela, otros fueron sellados herméticamente y otros más fueron dejados abiertos. Redi observó que las moscas entraban a los frascos abiertos, no así en los frascos cubiertos o en los sellados. Días después, observó larvas en la carne de los frascos abiertos, pero no aparecieron en la carne de los frascos que estaban cubiertos con tela, concluyendo que las larvas vienen de los huevecillos depositados por las moscas que entraron a los frascos abiertos (observa este sencillo pero importante experimento en la figura 5.2). Redi reconoce sus resultados como evidencia de que los seres vivos proceden de otros seres vivos; en este caso, las larvas se desarrollaron de

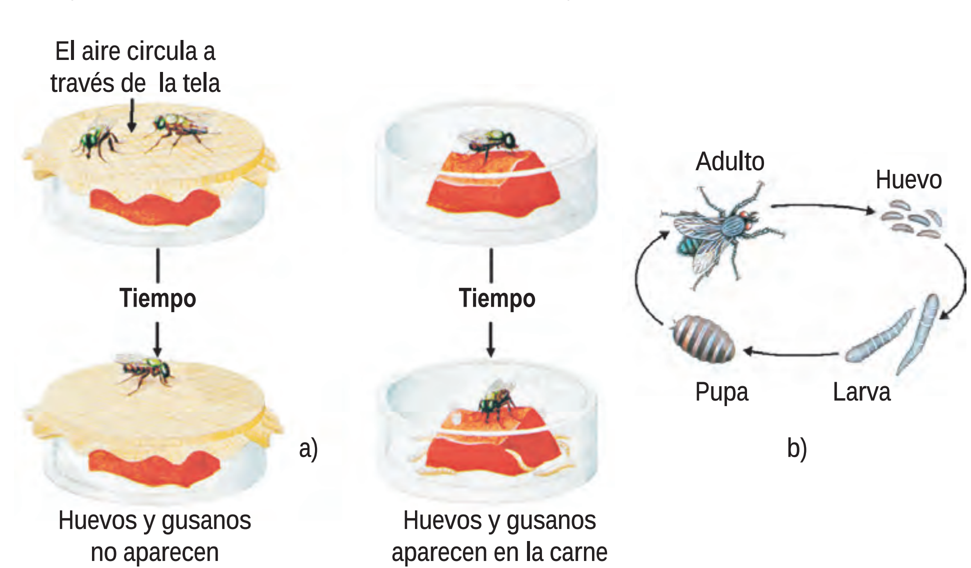


Figura 5.2 a) El experimento de Redi demostró que las moscas provienen de las moscas y que por lo tanto no se generan espontáneamente de la carne descompuesta como se creyó durante siglos, b) Ciclo biológico de la mosca.

los huevecillos de las moscas, estableciendo el principio de que la vida procede de la vida, mismo que se conoce como **biogénesis**. A pesar de esto, al ser descubiertos los microorganismos, la controversia de la generación espontánea se concretó a los seres microscópicos.

Entre los seguidores de la generación espontánea se contaba al científico inglés **John Needham**, quién en 1745 realizó un experimento para apoyar esta hipótesis en el terreno de la microbiología. Needham preparó un cocimiento de carne y verduras que lo hirvió durante unos pocos minutos; al terminar el cocimiento tomó muestras de caldos que observó en el microscopio, pero no encontró ningún microorganismo presente. Procedió entonces a cerrar los frascos con tapones de corcho. Pocos días después, el caldo de los frascos se encontraba totalmente poblado de bacterias por lo que estaba turbio y aún cuando Needham concluyó que esas bacterias encontradas en los frascos se formaron en el caldo por generación espontánea, no se dio cuenta que los microorganismos penetraron a los frascos porque el corcho que usó no era suficiente para impedir la penetración de microorganismos. El falso resultado de este experimento apoyaba la hipótesis de la generación espontánea.

Veinticinco años después, el biológo italiano **Lazzaro Spallanzani**, desafió las conclusiones de Needham; pensó que Needham no había hervido el caldo el tiempo suficiente para destruir totalmente a todas las bacterias. Spallanzani tuvo especial cuidado para hervir las muestras y sellar los frascos; usó corcho para tapar la mitad de los frascos y la otra mitad los selló herméticamente. Precisamente, sólo en los frascos que estaban tapados con corcho se desarrolló la turbidez que evidenciaba la presencia de microorganismos: Needham estaba convencido de que la idea de la generación espontánea se descartaba. Por otro lado, los defensores de la generación espontánea decían que al excluir el aire de los frascos sellados, se eliminaba el elemento esencial de la generación espontánea.

El experimento de Luis Pasteur

Casi 100 años después del experimento de Spallanzani en 1864, el químico francés **Luis Pasteur** realizó un experimento que puso fin a la controversia. Pasteur puso caldo nutritivo en matraces, luego con calor estiró el cuello de cada uno de los matraces y les dio la forma de un cuello de cisne; algunos matraces fueron dejados con el cuello recto normal. Pasteur hirvió por largo tiempo los caldos de los matraces para luego dejarlos en reposo. No selló los cuellos, de tal manera que el aire podía estar en contacto libremente con el caldo. Después de varios días, los matraces de cuello de cisne permanecieron sin bacterias, mientras que el caldo de los matraces con cuello recto se enturbió con bacterias.

¿Qué fue lo que sucedió? ¿ Por qué si los dos tipos de matraces estaban en contacto con el aire, solamente en los de cuello recto había desarrollo de microorganismos?

Pasteur planteó que las partículas de polvo eran los medios de transporte de las bacterias al interior de los matraces con cuello recto. Sin embargo, en los matraces de cuello curvo las bacterias quedaban atrapadas en su parte baja, sin alcanzar a entrar hasta el caldo, por lo que no hubo desarrollo de bacterias. Más aun, cuando Pasteur quebró el cuello curvo de uno de sus matraces, ese caldo empezó a enturbiarse en unas cuantas horas mostrando el desarrollo bacteriano. Con este sencillo pero inteligente experimento, Pasteur demostró que las bacterias no se generaban espontáneamente en el caldo, sino que procedían del exterior del matraz y penetraban a él con el polvo que se encuentra en el aire. Observa parte de este experimento en la figura 5.3.

De esta manera, Luis Pasteur finalmente estableció que la vida no se desarrolla de la materia inanimada, descartando definitivamente la generación espontánea y confirmando, a su vez, la hipótesis de la biogénesis, la cual está firmemente establecida en la actualidad.

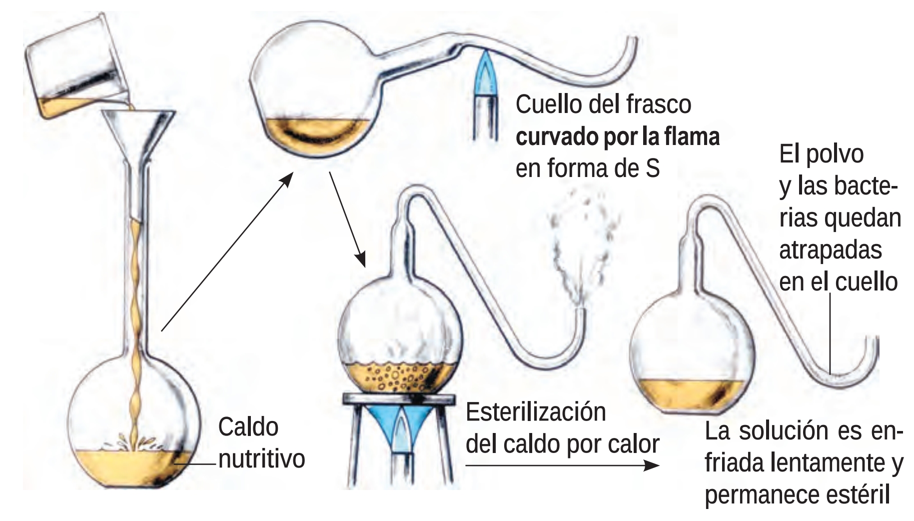


Figura 5.3 Este experimento mostró que los microorganismos que se desarrollaron en el caldo nutritivo provenían de las esporas y microorganismos presentes en el aire.

Algunos de los matraces que Pasteur usó en sus experimentos aún existen, permanecen sin desarrollo microbiano y están en exhibición en el Instituto Pasteur de París.

Origen de la vida

Si la vida no puede originarse de la materia inanimada, entonces, ¿cuál es el origen de la vida? Es una pregunta que siempre ha sido difícil contestar. Los científicos tienen evidencias que la Tierra en la actualidad es diferente a las condiciones que existían antes de que se originara la vida. La mayoría de los científicos piensan que las condiciones que existían en la Tierra primitiva, permitieron el origen de la vida.

Formación de la Tierra

A. G. H. Cameron, en su obra *El Origen y la Evolución del Sistema Solar* nos dice que hace unos 4 mil 600 millones de años una gran nube de gas y polvo se contraía en el espacio interestelar en la extremidad de uno de los brazos de nuestra galaxia. La nube se concentró y giró aun más de prisa, formando un disco. En un momento dado, el cuerpo concentrado en el centro del disco fue tan masivo, denso y caliente, que provocó la ignición de su combustible nuclear y se convirtió en una estrella: el Sol. Más tarde, las partículas de polvo restante se unieron para formar los ocho planetas, ligados a órbitas alrededor del Sol y satélites, a su vez ligados a órbitas alrededor de algunos planetas. A medida que la temperatura descendía lentamente, la Tierra fue adquiriendo su forma a través de millones de años. Los materiales más pesados, tales como el níquel y el hierro, se unieron para formar el núcleo terrestre. Los materiales más livianos emergen a la superficie y se enfrían formando la corteza y la atmósfera primitiva. Las erupciones volcánicas derramaban lava de las regiones calientes del interior, aumentando el material de la corteza. El gas hidrógeno, el más liviano de todos los materiales, probablemente formó la capa más externa; esta capa de hidrógeno fue el antecedente de la atmósfera.

Atmósfera primitiva

La atmósfera de la Tierra primitiva era muy diferente a la actual. **Alexander I. Oparin**, un notable bioquímico ruso, propuso que la atmósfera primitiva estaba formada por gases como el metano (CH_4), amoniaco (NH_3), hidrógeno (H_2), y vapor de agua (H_2O). Otros científicos sugieren que también existía bióxido de carbono (CO_2) y nitrógeno (N_2). El oxígeno gaseoso (O_2) en la atmósfera actual es producido por los organismos fotosintéticos, por lo que no había o había muy poco oxígeno en la atmósfera antes de que apareciera la vida. Compara en la tabla 5.1 los contenidos de gases de la atmósfera primitiva y la atmósfera actual.

Tabla 5.1 Comparación de las atmósferas terrestres primitiva y actual

GAS	Atmósfera primitiva	Atmósfera moderna
Bióxido de carbono	92.2 %	0.03 %
Nitrógeno	5.1	78.1
Bióxido de azufre	2.3	trazas
Sulfuro de hidrógeno	0.2	trazas
Amoníaco	0.1	trazas
Metano	0.1	trazas
Oxígeno	0.0	20.9
Argón	0.0	0.9

El vapor de agua se condensó precipitándose en forma de lluvia que llenó las cuencas de la corteza terrestre. El agua fluía corriente abajo formando los nuevos mares y disolviendo minerales tales como el fósforo de las rocas. El agua también llevaba gases en solución. Estos compuestos disueltos formaron mezclas de sustancias muy ricas en los mares primitivos.

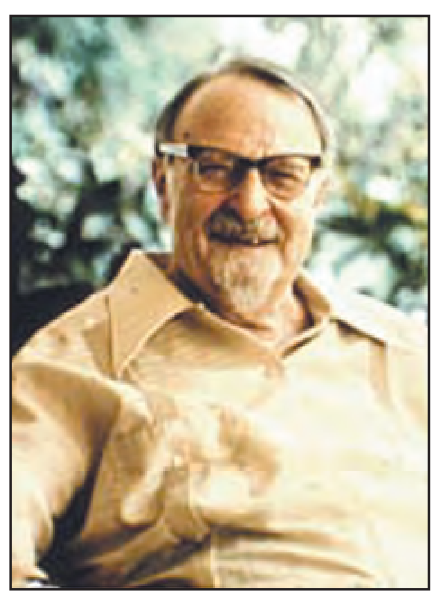
Algunas fuentes de energía sobre la superficie terrestre estaban presentes. Por ejemplo, la atmósfera primitiva no tenía capa de ozono que la protegiera y sin esta, enormes cantidades de energía, en forma de radiación ultravioleta, llegaban a la Tierra. Las descargas eléctricas en la atmósfera también pueden haber contribuido con grandes cantidades de energía eléctrica. Los científicos teorizan que las condiciones de la Tierra hace 4 mil millones de años favorecieron la aparición de la vida.

Origen de las primeras células

Después de haberse presentado estas condiciones, se calcula que tuvieron que pasar 500 millones de años para que apareciera la vida. Se piensa que la vida se originó por un proceso complejo, mismo que se resume de acuerdo con las siguientes etapas:

- La síntesis de moléculas orgánicas simples
- La formación de polímeros
- La formación de membranas y gotas
- Los inicios de la herencia y de la replicación

Síntesis de moléculas orgánicas


Figura 5.4 Alexander I. Oparin.

Desde 1924, **Alexander I. Oparin** publicó un libro titulado *El Origen de la Vida*, donde reconoce que el problema del origen de la vida pertenece a la categoría de los problemas fundamentales de las ciencias naturales. En su obra, postula su teoría en los siguientes términos generales: "La vida se originó debido a una larga evolución, organización y especialización de la materia".

Cuatro años después de la aparición de este primer libro de Oparin, un biólogo inglés, **John Haldane**, publicó un artículo también titulado "El origen de la vida", donde presentaba una hipótesis muy parecida a la de Oparin.

En 1949, John D. Bernal argumentó que las sustancias necesarias para la aparición de la vida debieron haber tenido lugar en las arcillas formadas en pequeños charcos y lagunas poco profundas sujetas a desecaciones periódicas.

Con motivo de la visita que Oparin realizó en México, en 1978, fue entrevistado por **Antonio Lazcano Araujo**, reconocido científico mexicano. En dicha entrevista, Oparin resumió su propuesta acerca del proceso general de la aparición de la vida, de la manera siguiente:

> "La ausencia de oxígeno, una de las condiciones ambientales de la Tierra primitiva, permitía la síntesis y acumulación de compuestos orgánicos sintetizados abióticamente a partir de moléculas más simples. Estos compuestos orgánicos se disolvieron en los mares primitivos, y su acumulación posterior en gotitas microscópicas formadas por ellas, separadas del medio ambiente por membranas primitivas que permitían el intercambio de materia y energía con su entorno, marcó la aparición de sistemas precelulares. De la evolución gradual de estos sistemas precelulares surgieron los primeros seres vivos, pequeños microorganismos heterótrofos, pues se nutrían a partir de los compuestos orgánicos acumulados en los mares de la Tierra primitiva. A partir de ese momento, se inicia la evolución biológica que llevaría a todas las formas de vida pasadas y presentes que han poblado el planeta, incluyendo al propio ser humano".

Experimentos que apoyan la teoría de Oparin-Haldane

En 1953, **Stanley Miller**, trabajando en el laboratorio de **Harold C. Urey**, en la Universidad de Chicago, hizo el primer experimento diseñado para reconocer las reacciones químicas que ocurrieron en la Tierra primitiva. Lo importante de este experimento fue la simulación de las condiciones que debían existir en la atmósfera primitiva. Para su experimento, Miller construyó un aparato de vidrio cerrado herméticamente, en el cual colocó una mezcla de gases de metano (CH_4), amoníaco (NH_3) e hidrógeno (H_2) , los cuales eran sometidos a descargas eléctricas constantes producidas por los electrodos instalados en el aparato (figura 5.5), además se producía vapor de agua que actuaba como "lluvia" que transportaría cualquier molécula orgánica.

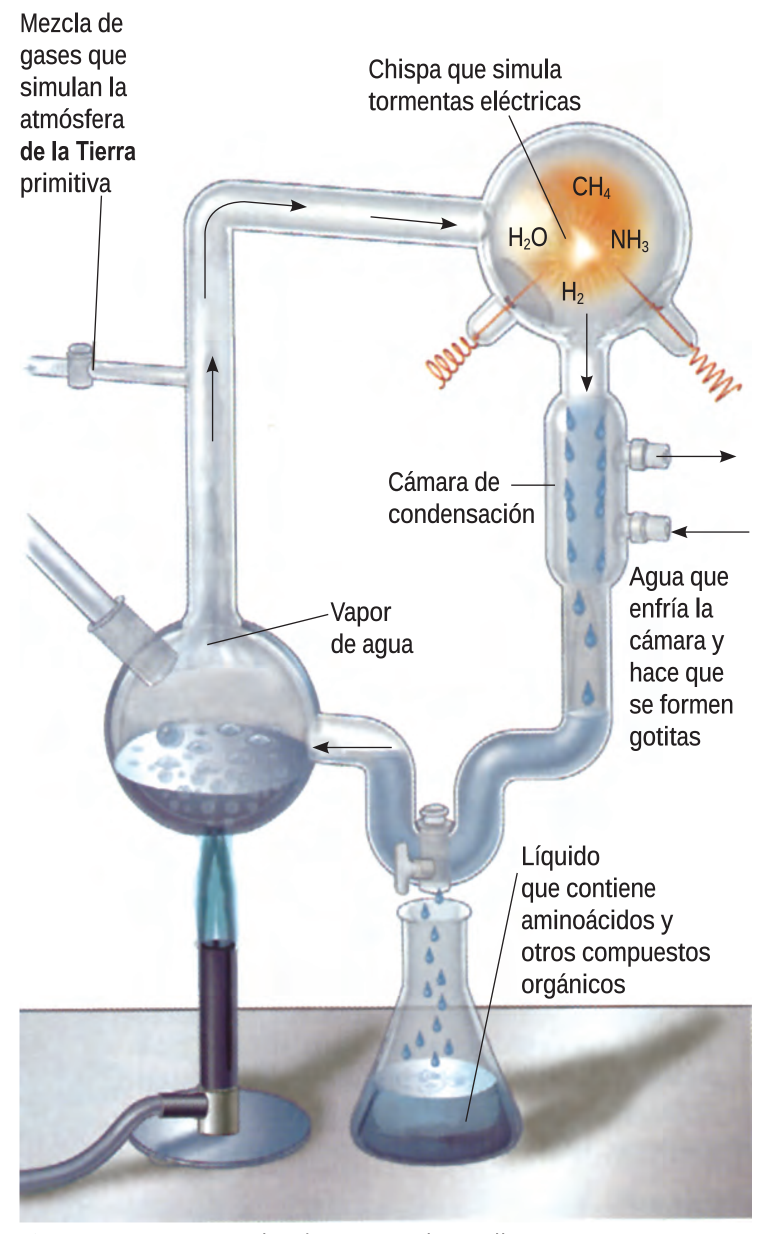


Figura 5.5 Aparato utilizado por Stanley Miller en su experimento, mediante el cual mostró que moléculas orgánicas sencillas podían sintetizarse bajo las condiciones de la vida primitiva. *¿Qué moléculas orgánicas se obtuvieron en este experimento?*

Las sustancias circulaban continuamente por el aparato debido a la ebullición y la condensación constantes. Después de una semana, Miller analizó el agua condensada encontrando que ahora contenía algunos aminoácidos como glicina, alanina, ácido aspártico y ácido glutámico y otras sustancias orgánicas constituyentes de los seres vivos. De esta manera se demostró que los compuestos fundamentales para la aparición de los seres vivos se podían originar abióticamente.

A partir del experimento de Miller y Urey, otros científicos han llevado a cabo simulaciones de laboratorio de las condiciones primitivas usando otros gases y fuentes de energía. De esos experimentos se han obtenido diversas sustancias de importancia biológica, entre las que se cuentan, además de los aminoácidos, sustancias almacenadoras de energía como el ATP y las bases nitrogenadas adenina y guanina que forman parte del ARN y ADN.

Polimerización

Después de que se formaron las moléculas orgánicas sencillas, estas reaccionaron para formar largas cadenas de polímeros. Este proceso en los seres vivos se realiza por la acción de las enzimas ¿Qué pudo haber causado estos eventos sin que existieran las enzimas?

Una hipótesis establece que las reacciones de polimerización ocurrieron sobre la superficie de ciertos minerales que pudieron haber absorbido los monómeros, que luego dieron lugar a los polímeros respectivos. Este tipo de proceso pudo haber ocurrido a orillas de los mares y en acumulaciones de agua que existían en pequeños charcos y lagunas someras (poco profundas) donde las soluciones se concentraban rápidamente al evaporarse el agua de ellas. Al suceder esto, la materia orgánica se depositaba en las arcillas y lodos así formados donde fácilmente podían ocurrir las reacciones de polimerización en pequeños charcos del mar.

Membranas y protocélulas

Paralelamente a la formación de polímeros, se daba la formación de pequeños sistemas de gotitas microscópicas en las que se encontraban disueltas grandes cantidades de polímeros y de muchas otras sustancias orgánicas, permitiendo la formación de moléculas aun más complejas. Este tipo de sistemas, seguramente antecedieron a las primeras células, y se les ha llamado **coacervados** o **microesferas proteicas**. Ambos son propuestos como modelos precelulares.

Un paso importante en el origen de las primeras células fue la formación de membranas. Por medio de las membranas, el ambiente interno de una célula es separado del medio que la rodea. Una vez que ya existían las grandes moléculas orgánicas, pudieron tener interacciones químicas con sustancias presentes en los alrededores. Si los tipos correctos de proteínas son mezclados con el agua, formarán delgadas cubiertas, parecidas a las membranas, alrededor de las gotas de agua.

Herencia y replicación

Las primeras protocélulas probablemente absorbieron moléculas ricas en energía de sus alrededores, entonces se agrandaron y se dividieron. Algunas protocélulas fueron probablemente mejor que otras para absorber nutrientes ricos en energía. Cuando esas protocélulas se dividían, no tenían posibilidad de pasar sus características a sus descendientes; las características no fueron pasadas a las siguientes protocélulas hasta que evolucionaron los **ácidos nucleicos**.

El ARN fue probablemente la primera molécula capaz de replicarse a sí misma. Si el ARN es mezclado en un tubo de ensayo con nucleótidos libres de ARN, se forman pequeños fragmentos de ARN. Esta replicación ocurre sin la ayuda de las enzimas. Ciertos tipos de ARN pueden actuar de forma parecida a la de las enzimas en las células y pueden, eventualmente, participar en la formación de otros tipos de ARN. Es posible que de esta manera el ARN en células primitivas haya sido capaz de dirigir su propia replicación.

Primeras formas de vida

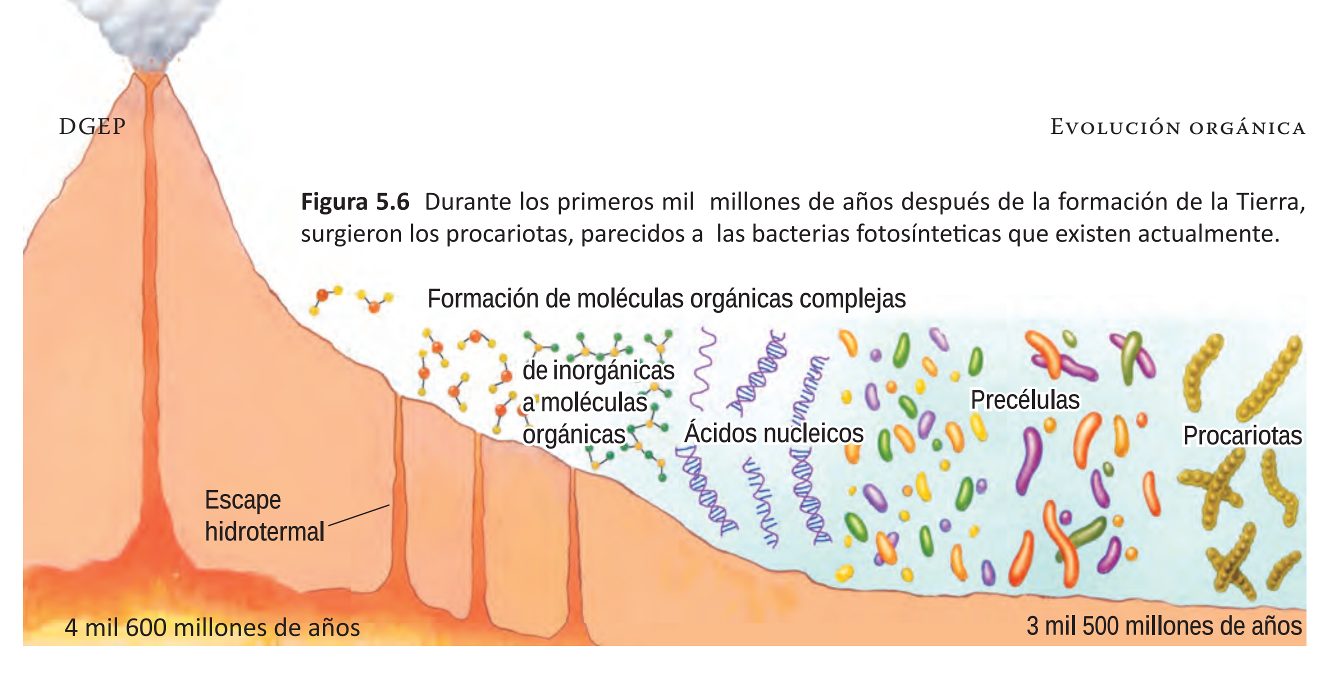
Las evidencias de lo que fueron las primeras células que los científicos han encontrado son de fósiles de 3 mil 500 millones de años de antigüedad. Por lo tanto, los científicos saben que la vida apareció cuando menos desde entonces. Esos fósiles son similares a las bacterias modernas, es decir, células procariotas. Observa en la figura 5.6 el proceso de formación de estas primeras células.

Primeros heterótrofos

La mayoría de los científicos están de acuerdo en que las primeras células fueron heterótrofas. Estas obtenían energía al absorber moléculas orgánicas ricas en energía de su entorno. Como las células se reproducían y su número se incrementaba, los nutrientes orgánicos fueron usados más rápido que lo que se producían por reacciones al azar. Se desarrolló una fuerte competencia entre las células por las moléculas nutritivas.

Muchas posibilidades de variación ocurrieron en los primeros mil millones de años después de que apareció la vida; algunas de esas variaciones capacitaron a las células para usar la energía

Figura 5.6 Durante los primeros mil millones de años después de la formación de la Tierra, surgieron los procariotas, parecidos a las bacterias fotosínteticas que existen actualmente.



proveniente del Sol. Las células que desarrollaron este proceso de captación de energía luminosa conocido como **fotosíntesis**, dejaron de competir por las sustancias orgánicas del mar. Las evidencias del desarrollo de las primeras bacterias fotosintéticas fue encontrada en rocas llamadas estromatolitos, que se muestran en la figura 5.7. Los **estromatolitos** son los restos fosilizados de capas de bacterias y sedimentos de piedra caliza. Estos estromatolitos tienen forma de cojín y fueron descubiertas en la bahía de Shark, en Australia.

Los primeros organismos fotosintéticos no producían oxígeno; sin embargo, al menos desde hace 2 mil 500 millones de años la fotosíntesis, tal y como se realiza en la actualidad en las plantas, se desarrolló en ciertas células. Por primera vez, el oxígeno gaseoso fue liberado en el agua y eventualmente, en la atmósfera.

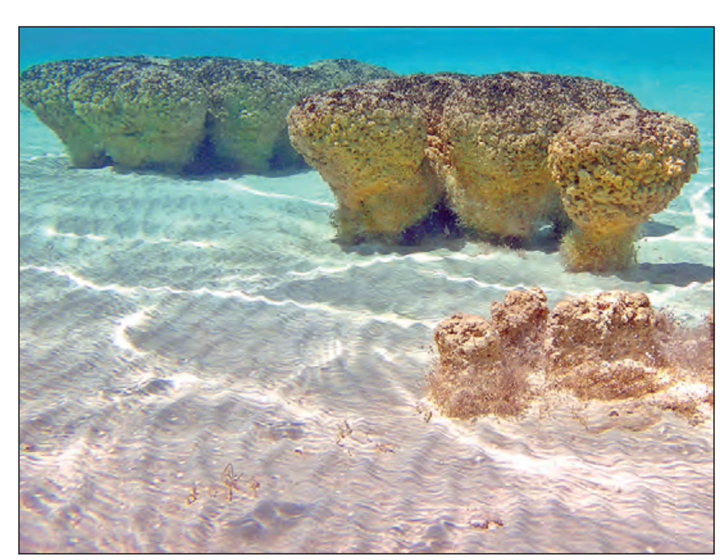


Figura 5.7 Fotografía de estromatolitos a los que se les calcula una edad de 3 mil 500 millones de años.

Respiración aeróbica

A consecuencia de que el oxígeno libre nunca había estado presente, las células eran estrictamente anaerobias. Los organismos anaerobios son dañados por el oxígeno, por ello la mayoría de las células sobre la Tierra fueron incapaces de sobrevivir en la atmósfera de oxígeno.

Aunque la mayoría de las células murieron, algunas alcanzaron a sobrevivir debido a que vivían en lugares exentos de oxígeno como lo son las bacterias actuales anaeróbicas. Pocas células quedaron adaptadas a tolerar el oxígeno; eventualmente hubo posibles variaciones que les permitieron usar el oxígeno para tomar energía de los alimentos. Estas variaciones fueron los inicios de la respiración aeróbica.



Figura 5.8 Tabla del tiempo geológico que muestra la enorme diversidad de organismos del pasado y del presente. Observa que a partir de la era paleozoica aparecen miembros de todos los filos y clases de animales, excepto aves y mamíferos. *¿En qué era aparece el ser humano?*

Eucariotes

Se piensa que las primeras células eucariotas se desarrollaron hace 1 500 millones de años. ¿Cómo lograron desarrollar una membrana nuclear y membranas en los organelos tales como las mitocondrias y los cloroplastos?

La investigadora americana **Lynn Margulis**, de la Universidad de Massachusetts, desarrolló una hipótesis para contestar esta pregunta. Ella propuso que la mitocondria evolucionó de procariotas aeróbicos de vida libre y los cloroplastos, de células procariotas fotosintéticas. De acuerdo con esta idea, llamada **hipótesis endosimbiótica**, los ancestros de vida libre de las mitocondrias y de los cloroplastos fueron englobadas por células más grandes. Quizás las células más grandes las apresaron para alimentarse y algunas de ellas permanecieron sin digerirse.

Muchas evidencias apoyan la hipótesis de Margulis. Por ejemplo, las mitocondrias y cloroplastos parecen células procariotas; contienen su propio ADN y ribosomas, por lo que pueden elaborar sus propias proteínas y reproducirse. El ADN de la mitocondria y del cloroplasto es circular como en los cromosomas de las bacterias. Finalmente, los ribosomas de esos organelos son parecidos a los de las bacterias y no a los de las células eucariotas.

Evolución de la vida multicelular

Los geólogos han dividido la historia de la vida en grandes períodos geológicos. Cada unidad de tiempo está caracterizada por ciertos cambios que tuvieron lugar en la Tierra en el pasado. Las unidades más grandes, que se miden en varios millones de años, se llaman **eras**; las eras son divididas en **períodos** y estos períodos en **épocas**. Cada división es marcada por la extinción de muchas formas de vida y la aparición de muchas otras nuevas. Toda esta información se resume en una tabla llamada "tabla del tiempo geológico" (véase figura 5.8). Un aspecto sobresaliente en el estudio de la tabla del tiempo geológico es el que la mayoría de la información se deriva del registro fósil de las capas de la corteza terrestre, de lugares como el Cañón del Colorado, en Arizona. Este cañón es un valle profundo que alcanza en ocasiones los 1 800 metros y que se formó por la erosión causada a la meseta de Arizona por el flujo de las aguas del río Colorado, a lo largo de millones de años.

Otro conocimiento que los geólogos han mantenido desde hace mucho tiempo es el que la corteza de la Tierra es inquieta, esto es, que cambia constantemente. Los geólogos, basados en datos científicos obtenidos de eventos como la tectónica de placas y el comportamiento magnético del planeta, "reconstruyen" el pasado de la corteza terrestre, que revela no sólo su comportamiento anterior, sino el presente y algunos cambios futuros. Por ejemplo, la Tierra tiene un movimiento regular y constante de dos centímetros por año en el área de las Bajas Californias, las cuales se calcula que se separarán del territorio mexicano, dentro de 30 o 40 millones de años para formar unidas un microcontinente.

En la actualidad, se sabe que hace 530 millones de años se formó un supercontinente llamado **Pangea**, el cual inició su desintegración hace unos 230 millones de años durante la era Paleozoica. Esa separación de Pangea dio lugar a la distribución de los continentes que tiene nuestro planeta actualmente.

Todavía en 1965, en los mapas donde se reconstruía ese supercontinente, México no aparecía. En fecha reciente, el descubrimiento hecho por el mexicano Fernando Ortega Gutiérrez,

Investigador del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), ubica a una parte de nuestro país en un supercontinente todavía más antiguo que Pangea de mil millones de años, llamado Rodinia. Ese fragmento de territorio mexicano descubierto por el doctor Ortega recibe el nombre de *Oaxaquia* y en él se localizan antiquísimas rocas a las que se les calcula una edad de mil millones de años. *Oaxaquia* se extiende desde Oaxaca hasta Tamaulipas con 1000 kilómetros de largo y 500 de ancho. Con este descubrimiento se coloca a México en el mapa más antiguo del planeta.

Teoría de la evolución

La teoría de la evolución, nos dice **Francisco Ayala**[2] (1994), se ocupa de tres condiciones diferentes. La primera es el hecho de la evolución; esto es, que las especies vivientes cambian a través del tiempo y están emparentadas entre sí debido a que descienden de antepasados comunes. La segunda condición es la historia de la evolución, es decir, las relaciones particulares del parentesco entre unos organismos y otros, y cuando se separaron unos de otros para dar lugar a las especies vivientes. La tercera condición se refiere a las causas de la evolución de los organismos.

Los cambios que han ocurrido en una población mediante los cuales se han formado nuevas especies a lo largo del tiempo es un proceso que se conoce como **evolución**. Se considera un hecho científico que la evolución ha ocurrido a través de la historia de la vida. La teoría de la evolución explica cómo los cambios han ocurrido en todas las poblaciones, proponiendo, además, los mecanismos mediante los cuales ha tenido lugar.

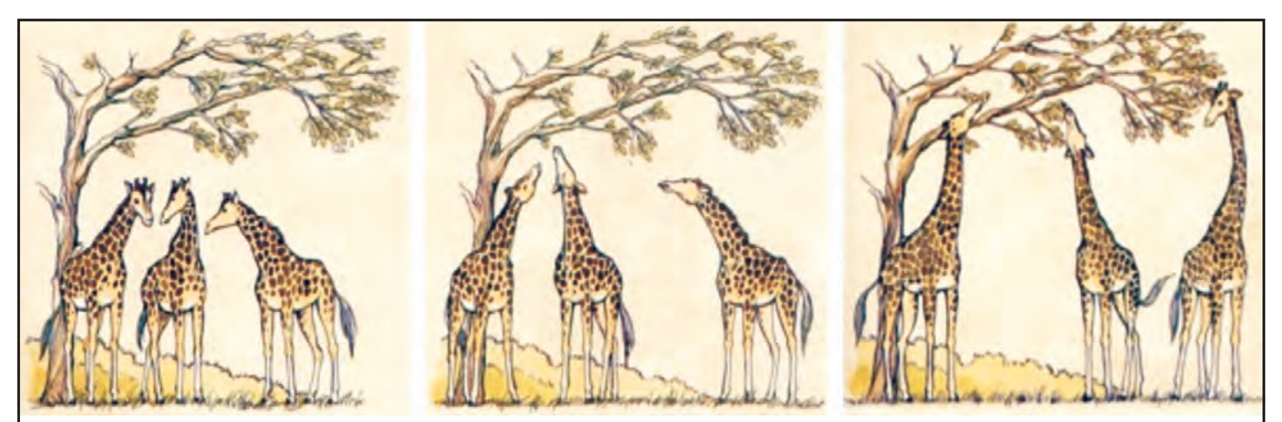
Todas las culturas humanas tienen mitos sobre el origen y desarrollo del mundo y de los seres vivos. La idea de la evolución ya era discutida por los filósofos de la antigua Grecia desde hace más de 2 mil años. En realidad, el estudio de la evolución como un proceso biológico fue desarrollado a partir del siglo XIX, aunque, la palabra *evolución* fue empleada por primera vez por el naturalista suizo **Charles Bonnet** a mediados del siglo XVIII. Bonnet encontró fósiles sepultados en rocas que no representaban a las especies de plantas y animales vivientes. Él explicaba estas diferencias asegurando que ocurrían periódicamente en la Tierra catástrofes que modificaban las formas vivientes. Los fósiles eran los restos de plantas y animales que vivieron antes de las catástrofes. La hipótesis de Bonnet es conocida como "catastrofismo", la cual fue muy popular hasta que otras ideas como las de Lamarck, en 1809, avanzaban en el pensamiento evolutivo de la humanidad.

Hipótesis de Lamarck

La primera hipótesis completa de la evolución fue la del naturalista francés **Jean Baptiste de Lamarck**, publicada en 1809 en su libro *Filosofía Zoológica.* Fue el primer naturalista moderno que descartó el concepto de las especies fijas (aquellas que no han sufrido variaciones desde su crea-

---

[2] Científico español especializado en el tema de "Evolución biológica"; ha publicado doce libros, entre ellos *La teoria de la evolución*, en 1994.



Para Lamarck el cuello largo de las jirafas era el resultado del esfuerzo hecho por sus antepasados al querer alcanzar las hojas altas de los árboles y poder alimentarse. En cada generación, el cuello se alargaba un poco más y esta caracteristica adquirida se heredaba.



Según Darwin, había variabilidad en el largo del cuello de las jirafas, unas lo tenían corto y otras largo, y que la naturaleza selecciona generación tras generación a las de cuello largo por ser las que mejor pueden alimentarse.

Figura 5.9 Comparación de las teorías de Lamarck y Darwin con el ejemplo de las jirafas.

ción) y que consideró a la especie como poblaciones cambiantes. La hipótesis de Lamarck comprende tres ideas principales:

- Primera: Lamarck pensó que los organismos constantemente luchan para mejorarse y estar más avanzados.
- Segunda: el esfuerzo de mejorar causa el desarrollo de las estructuras del cuerpo que más se usan, mientras que las estructuras que no se usan se degradan. Esta segunda idea fue llamada el **principio del uso y desuso**.
- Tercera: una vez que una estructura está modificada por el uso y desuso, la modificación es heredable a la descendencia. Esta idea se conoce como el **principio de la herencia de los caracteres adquiridos** y es la base de la hipótesis de Lamarck.

Los ejemplos con que Lamarck quiso ilustrar el mecanismo fundamental de su hipótesis son muy conocidos; aparte del más utilizado, que consistía en el estiramiento del cuello de la jirafa debido a que su alimento se iba encontrando en ramas cada vez más altas (figura 5.9), Lamarck usó el ejemplo de los cuernos de algunos rumiantes, como los venados, que a fuerza de darse

topes con la cabeza cuando los machos peleaban por una hembra, fueron desarrollando cornamentas más grandes. Otro ejemplo es el de las aves acuáticas, que al encontrarse en un lago necesitaban nadar, para lo cual abrían los dedos de las patas a fin de impulsarse mejor, de manera que se estiraba la piel entre los dedos hasta que se desarrollaba una pata membranosa como la de los patos.

En 1889, el biólogo alemán **Augusto Weismann** mostró que la idea de Lamarck era incorrecta. Weismann cortó las colas de cientos de ratones durante 22 generaciones. La hipótesis de Lamarck predecía que eventualmente los ratones pudieran nacer con colas cortas o sin cola. Sin embargo, los ratones de Weismann continuaban naciendo con cola normal. Weismann concluyó que los cambios en el cuerpo durante la vida de un individuo no afectan a las células reproductivas y, por lo tanto, a la descendencia. Actualmente, la hipótesis de Lamarck basada en la herencia de los caracteres adquiridos es inaceptable ya que las pruebas genéticas son decisivas en el sentido de que las características adquiridas por el uso y el desuso no se heredan. A partir de lo que se sabe en la actualidad sobre los mecanismos de herencia, resulta claro que los rasgos adquiridos no pueden ser heredados, ya que tales cambios ocurren en las células del cuerpo, mientras que los rasgos hereditarios son transmitidos por los gametos. La hipótesis de Lamarck tuvo una gran influencia en el siglo XIX y en un joven inglés que nació en 1809. Este joven, Charles Darwin, desarrolló un extenso trabajo de investigación que lo condujo a la elaboración de la teoría que revolucionó a las ciencias naturales.

El viaje de Darwin

Charles Darwin nació en Inglaterra el 12 de febrero de 1809. De familia acomodada Darwin ingresó a la escuela de medicina cuando tenía 16 años de edad, sin embargo, encontró a la cirugía médica muy desagradable. Como no había anestesia en aquella época, no podía soportar el sufrimiento de los pacientes en cirugía. No completó los estudios de medicina y fue enviado a Cambridge a estudiar para ministro religioso, donde tampoco fue un buen alumno.

Mientras estudiaba en Cambridge, Darwin conoció a John S. Henslow, un profesor de botánica. Henslow se hizo amigo de Darwin y lo animó para que estudiara geología y biología junto con teología. Después de que Darwin salió de Cambridge, Henslow lo presentó con gente importante en la ciencia, recomendándolo para participar como naturalista en una importante expedición científica a bordo del barco H.M.S. *Beagle* en 1831. El *Beagle* tenía la función de hacer un estudio sobre el litoral de América del Sur, elaborar los mapas correspondientes y coleccionar especímenes. De esta manera, Darwin que tenía en ese entonces 22 años tuvo la oportunidad de colectar, observar y anotar cualquier cosa nueva que hubiera que registrar en historia natural, además de hacer estudios geológicos en esa área localizando minerales para explotación minera. El viaje duró cinco años alrededor del mundo; la trayectoria aparece en la figura 5.10.

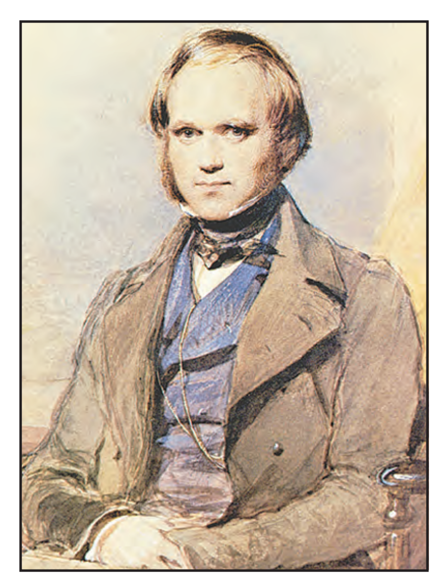


Figura 5.10 Retraro de Charles Darwin a la edad de 31 años, autor de la teoría de la evolución por selección natural.



Figura 5.11 Trayectoria seguida por el *Beagle*. Darwin viajó en este barco durante cinco años en los cuales visitó varios continentes e islas lejanas como las Galápagos. *¿Por qué fue tan importante este viaje para Darwin?*

Darwin desarrolló sus conocimientos de geología, durante el viaje leyó un libro del geólogo Charles Lyell llamado *Principios de Geología.* También hizo cuidadosas observaciones geológicas en las áreas a través de las cuales viajaban.

Debido a que Darwin sufría mareos frecuentes en el barco, decidía caminar por tierra hasta el siguiente punto donde el barco anclaría. Esto le permitió tomar notas sobre animales y plantas que encontraba

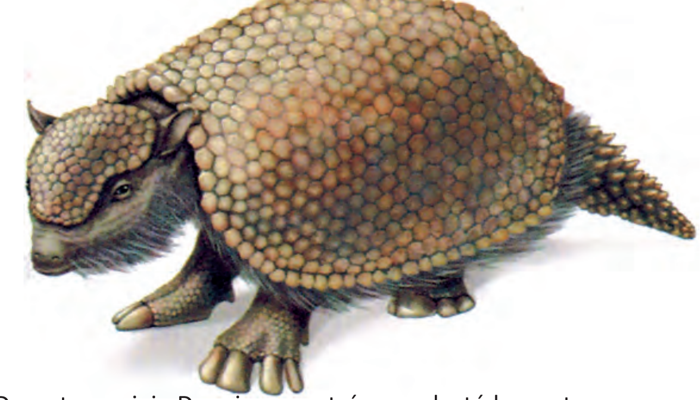


Figura 5.12 Durante su viaje Darwin encontró y recolectó los restos fósiles de varios mamíferos extintos como el perezoso terrestre gigante, el mastodonte y gliptodonte como el aqui representado. Pesaba dos toneladas y era parecido a un armadillo.



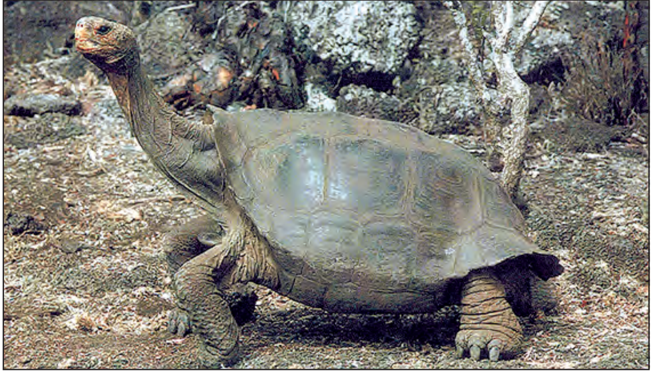


Figura 5.13 Las tortugas de las Galápagos. Darwin se pregunto si todas las tortugas de las diversas islas eran descendientes de un ancestro común. a) ya que las tortugas de la Isla Isabela tienen caparazones en forma de domo y cuellos cortos. Su alimentación es a base de hierbas que se encuentran a raz del suelo ya que la isla es húmeda, b) mientras que las tortugas de la Isla Hood poseen caparazones planos y cuellos largos que utilizan para alcanzar y poder alimentarse del fruto del cactus ya que esta isla es árida.

en su camino. De esta manera, tuvo oportunidad de hacer maravillosas colecciones de todos los organismos fósiles que encontró.

Las diferencias graduales entre animales y plantas que encontraba a lo largo de las costas, le impresionaron. Por ejemplo, observó aves parecidas a un avestruz chica llamadas "ñandús" (*Rhea americana)*. Cada población de ñandúes era ligeramente diferente de la anterior; cada grupo parecía haber sido modificado en algo para adaptarse a las condiciones diferentes del ambiente a lo largo de la costa. Muchos otros animales y plantas parecían mostrar los mismos cambios graduales.

Darwin quedó impresionado con los organismos que vio en las Islas Galápagos. Muchos animales y plantas eran únicos en cada isla. Por ejemplo, varios tipos de pinzones no eran parecidos a los que Darwin ya conocía; cada tipo de esas aves tenían sus propios hábitos de alimentación y su propio tipo de alimento. Aun así, todos los pinzones parecían muy emparentados. Darwin también tuvo la oportunidad de ver las poblaciones diferentes de tortugas gigantes que hacen famosas a estas islas. Un ex gobernador de las islas, le explicó a Darwin que cada isla tenía su propio tipo de tortuga, las cuales se podían identificar por la forma del caparazón.

Teoría de Darwin

Después de regresar a Inglaterra, Darwin dedicó mucho tiempo a organizar y estudiar sus notas de viaje. Durante más de 20 años trabajó rigurosamente al mismo tiempo que construía los conceptos evolucionistas. Algunas publicaciones muy importantes de aquella época tuvieron fuerte efecto en el pensamiento de Darwin; incluso conversaciones con amigos tales como el más famoso explorador de su tiempo, el geólogo **Charles Lyell**, le mostraron, por ejemplo, que las fuerzas (fenómenos) geológicas son extremadamente lentas y son procesos uniformes. Lyell le indicó que, considerando que estos procesos toman mucho tiempo, la Tierra debe ser muy antigua. En ese tiempo, la gente creía que la Tierra sólo tenía pocos miles de años. Esta información sugería a Darwin que los cambios geológicos graduales en grandes períodos influirían lentamente en plantas y animales.

Darwin leyó, entre otros, el libro acerca del crecimiento poblacional escrito por **Thomas Malthus**. En ese libro, Malthus establece que la población humana crece tan rápido que un día crecería más que la cantidad de alimentos disponibles. Los recursos naturales no podrán abastecer lo que la población necesita. El resultado es la muerte de las personas por el hambre, las enfermedades y la guerra. Claramente advierte que estos factores detendrán el crecimiento de la población humana.

Darwin asumió que las predicciones de Malthus eran verdad, no sólo para los humanos, sino para todas las poblaciones de organismos. Si toda la descendencia producida por una población sobreviviera, la población rápidamente se acabaría sus recursos; es decir, todos producen más descendientes que los que pueden sobrevivir. Darwin se dio cuenta que siempre hay competencia por el alimento, agua, espacio, luz y otros recursos naturales. Aquellos individuos que ganan en la competencia son aquellos que sobreviven y se reproducen. La capacidad para reproducirse y transmitir aquellas características que permiten sobrevivir es tan importante como la sobrevivencia misma.

Históricamente el ser humano ha domesticado una gran diversidad de plantas y animales; aun más, ha tratado de mejorar las características de tales plantas y animales, de tal manera que se puede hablar de una selección artificial de los mejores miembros de alguna especie en particular.

Esa selección se hace con base en las características de alta productividad o de resistencia a las enfermedades. Es el caso de las vacas lecheras, caballos veloces, suculencia de los frutos y rendimiento de semillas y muchos otros casos. Darwin supuso que este proceso de selección también se daba en la naturaleza, pero a un ritmo más lento. Darwin había observado que existía mucha variación en las características de los organismos de una especie, y pensó que los organismos que tienen una característica particular que les da más probabilidades de sobrevivir serán seleccionados en forma natural.

Selección natural

Para Darwin, la **selección natural** fue el mecanismo mediante el cual se llevó a cabo la evolución. En realidad, Charles Darwin **fue el fundador de la moderna teoría de la evolución**. La grandeza de Darwin en este campo no radicó únicamente en su reconocimiento y desarrollo de la selección natural como concepto unificador del cambio y estabilidad evolutivo, sino en su mente extraordinariamente sintética; desarrolló cierta habilidad para ver relaciones entre hechos aparentemente no relacionados incluso antes de concebir su teoría.

Las ideas de Darwin tomaron forma, y en 1844 escribió un ensayo explicando su nueva teoría acerca de la evolución. Pero no fue sino hasta 1859 que la publicó en el libro conocido como *El origen de las especies por la selección natural*. La primera edición del libro, que constaba de 1 250 ejemplares, se vendió en un día; el libro causó una gran controversia principalmente entre los miembros de la Iglesia.

La teoría de Darwin de la evolución por selección natural está basada en cuatro conceptos centrales:

- *Variación*. Todos los miembros de una especie difieren entre sí. Aunque no es fácil detectarlo en muchas especies, las variaciones entre los individuos son marcadas como las que reconocemos entre la especie humana. Esas diferencias no solamente se refieren a características morfológicas, sino también a aspectos fisiológicos y de comportamiento. Un ejemplo bien conocido de dicha variabilidad son las diferencias entre las razas humanas. La falta de un conocimiento genético por parte de Darwin (en esa época, nada se sabía de los mecanismos hereditarios), lo incapacitó para señalar las razones para estas variaciones, pero estaba convencido que el mecanismo de variación era el secreto de las diferencias entre las especies.
- *Sobreproducción.* De cualquier especie nacen más individuos de los que pueden obtener su alimento y sobrevivir. Por ejemplo, los abetos de un bosque requieren que una sola plántula logre establecerse para reponer cada uno de los organismos presentes; sin embargo, cada árbol de abeto puede producir decenas de miles de semillas, de las cuales es posible que no llegue a establecerse ninguna plántula. En realidad, se trata de un mecanismo de seguridad por parte de los organismos ante lo imprevisible y variable de los factores ambientales causantes de la mortalidad de la progenie; esto es, incrementar las probabilidades de que algunos vástagos puedan sobrevivir a todas las causas de mortalidad.
- *Lucha por la existencia.* Como los organismos producen más descendientes de los que pueden sobrevivir, se genera una lucha por la existencia; esto es, una competencia por los recursos disponibles tales como fuentes de alimento y territorio propio.

- *Selección natural.* Los individuos de una población que tienen una característica particular que les da más probabilidades de sobrevivir en un ambiente dado; es decir que están mejor adaptados, serán seleccionados naturalmente sobre aquellos individuos menos adaptados. La selección natural actúa como un filtro que separa a los individuos menos adaptados y permite que sólo los más adaptados sobrevivan y se reproduzcan. Los individuos que sobreviven se reproducen y pueden pasar sus características a su progenie. En el transcurso de numerosas generaciones, y si las condiciones ambientales se mantienen constantes, la proporción de individuos bien adaptados tenderá a aumentar, hasta finalmente aparecer en toda la población. De esta manera, en términos generales, ocurre la evolución de los organismos.

Alfred Russel Wallace

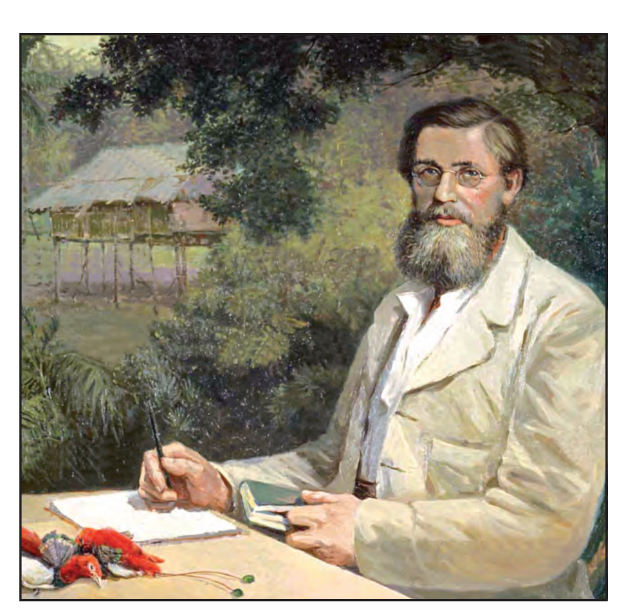


Figura 5.14 Alfred Russel Wallace (1823-1913).

A principios de 1858, un joven biólogo inglés llamado **Alfred Russel Wallace** escribió un documento que tituló *Sobre la tendencia de las variedades a diferenciarse indefinidamente de los tipos originales.* En ese documento de quince cuartillas, llegaba a las mismas conclusiones que Darwin acerca de cómo evolucionan los organismos. Wallace, al igual que Darwin, realizó algunos viajes principalmente a Brasil y a Malasia donde realizó muchas observaciones y colecciones de especímenes. También leyó las publicaciones de Malthus, Humboldt, Lyell y al mismo Darwin. Wallace no presentó un cúmulo de pruebas documentales debido a que trágicamente sus notas y sus especímenes colectados durante cuatro años en los ríos Amazonas y Orinoco se quemaron cuando el barco en que regresaba a Inglaterra se incendió. Wallace se salvó al estar a la deriva en las lanchas salvavidas durante varios días. A pesar de sus pérdidas, Wallace escribió a Darwin explicándole sus conclusiones. Darwin se sorprendió cuando estudió el trabajo de Wallace y vio la coincidencia en ideas y conceptos que ambos tenían sobre la evolución.

El 1 de julio de 1858, Charles Lyell y Joseph Hooker presentaron los trabajos de Darwin y Wallace ante la Sociedad Linneana de Londres. Wallace, con una actitud característica de los grandes hombres le dio el crédito a Darwin por haber desarrollado primeramente la teoría.

Mecanismos de selección natural

La **teoría de la evolución por selección natural de Darwin**, permanece como una de las ideas principales en Biología. A partir de la muerte de Darwin, otros científicos a la luz de nuevos descubrimientos, han aclarado partes de la teoría que el mismo Darwin no pudo explicar. Por ejemplo, un punto débil es la propuesta acerca de las variaciones en la población. Darwin no podía explicar cómo se producían las variaciones ni cómo se pasaban a los descendientes.

Fuentes de variación

Con el uso de la genética moderna, los científicos pueden ahora contestar dos importantes preguntas ¿De dónde vienen las variaciones heredadas? ¿Cómo se heredan las variaciones? Los científicos saben ahora que las nuevas variaciones vienen de dos fuentes: **mutación** y **recombinación**.

Recientemente, los científicos han reconocido que las mutaciones en los genes pueden producir cambios estructurales. Los primeros descubrimientos con la mosca de la fruta muestran que las moscas con mutaciones tienen características tan extrañas como pares extras de piernas y alas creciendo sobre la cabeza. Las mutaciones pueden explicar los cambios repentinos de nuevas características en un individuo y eventualmente en toda la población.

La mayoría de las variaciones en una población, sin embargo, no viene de nuevas mutaciones. En su lugar, las variaciones usualmente resultan de la recombinación de los alelos existentes. Durante la reproducción sexual, los alelos se recombinan por medio de tres mecanismos: la distribución independiente de cromosomas, entrecruzamiento y la combinación de genes del óvulo y del espermatozoide durante la fecundación. Es notable el hecho de que la teoría moderna de la evolución incluye principios de genética.

En la teoría de la evolución orgánica hay tres procesos principales que son consecuencia de la naturaleza de los organismos, de la estructura genética de las poblaciones y de la diversidad de las interacciones de la población y su medio ambiente: **mutación**, **recombinación genética** y **selección natural**.

Selección y nicho

Es útil saber cuál es la diferencia entre dónde vive un organismo y lo que hace en ese lugar donde vive. Esto nos lleva al concepto de **nicho**, que es la función o papel que tiene un organismo dentro de la comunidad a la que pertenece. El nicho depende del comportamiento del organismo, respuestas fisiológicas y adaptaciones estructurales; es decir, el nicho no es un espacio fisico, sino la interacción entre los factores fisicos, químicos, fisiológicos y bióticos necesarios para el

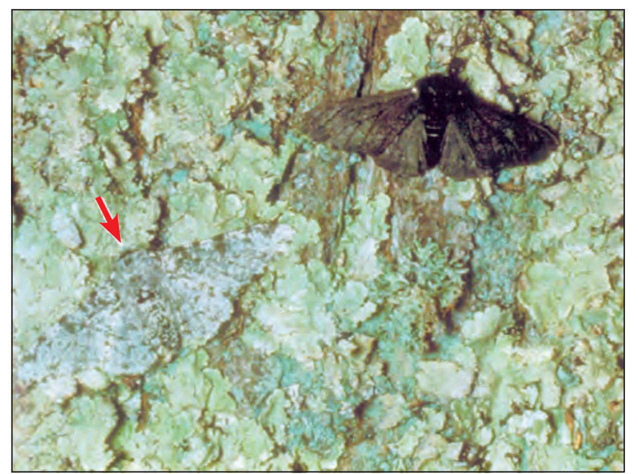




Figura 5.15 En ambas fotografías se observan las dos formas de *Biston betularia*, la moteada gris y la negra. El árbol de la izquierda está limpio y con líquenes, y el árbol de la derecha tiene su tronco ennegrecido por el hollín y sin líquenes. *¿Qué forma de palomilla será la más facil de localizar en cada árbol?*

organismo. Para describirlo, es necesario saber qué come, dónde se mueve, sus efectos sobre otros organismos y sobre la parte física de su medio.

El nicho de una población es definida por su forma de vida y el uso del medio ambiente. El nicho incluye todos los factores a los cuales las poblaciones están adaptadas. El concepto de nicho es útil en el estudio de la evolución a partir de que el nicho de un organismo es un factor importante en la selección natural. Siempre que dos poblaciones intenten ocupar el mismo nicho, resultará una fiera competencia. Eventualmente, sólo una de esas poblaciones probará estar mejor adaptada al nicho y se saldrá de la competencia.

Suponiendo que cambien las condiciones del nicho, algunos individuos en la población pueden tener características que encajen en las nuevas condiciones mejor que otros individuos. Aquellos con las características favorables, sobreviven y se reproducen, pasando las características a la nueva descendencia. Aquellos que no reciben las características favorables están con menores posibilidades de sobrevivir y reproducirse. Este proceso se puede reconocer como selección natural.

Hay muchos ejemplos de selección natural como resultado de los cambios ambientales, uno de los más famosos es *Biston betularia*, la palomilla inglesa. Estas palomillas viven en zonas boscosas. Antes de la revolución industrial, los troncos de los árboles en los bosques de Inglaterra fueron cubiertos de líquenes de color gris claro. La mayoría de las palomillas tenían un color moteado gris claro que se confundía con el gris de los troncos de los árboles. Ocasionalmente, en la población nacían palomillas de color negro, probablemente como resultado de alguna mutación. Sin embargo, estas palomillas eran fácilmente visibles, de tal manera que eran presa fácil de las aves que se alimentaban de ellas. Esta selección hacía que el número de polillas negras fuera muy bajo.

Cuando Inglaterra se industrializó, el humo y el hollín de las fábricas instaladas en las áreas rurales ennegrecieron a los troncos de los árboles. En pocos años, se notó que había pocas palomillas de color gris, y la mayoría de ellas eran de color negro. La contaminación industrial cambió el fondo en el que las palomillas descansaban. Así, las palomillas negras eran menos visibles a las aves y ellas podían vivir hasta reproducirse. En sólo unas pocas generaciones, la selección natural cambió el color de la mayoría de las palomillas de gris a oscuro. Este caso es un fenómeno muy conocido como “melanismo industrial” y aunque no es el único, es un claro ejemplo del efecto del ambiente para producir una **selección direccional** sobre el contenido genético de una especie, que significa que la selección en cierto tipo de mutaciones puede ser muy alta al darse una respuesta muy sensible a los cambios del ambiente. Compara la visibilidad de las polillas en los dos tipos de troncos en la figura 5. 15.

Pruebas de la evolución

El registro fósil

Los **fósiles** son los restos o impresiones de organismos que vivieron hace muchos años y que se han preservado por diversos procesos naturales. Por ejemplo, se han descubierto varias especies de mamuts congelados en regiones polares de más de 25 mil años. Es interesante mencionar aquí que el último mamut descubierto fue encontrado en Siberia en 1997, y que se trata de un mamut macho, el cual se mantendrá congelado con dos finalidades: estudiarlo y tratar de realizar su clona-

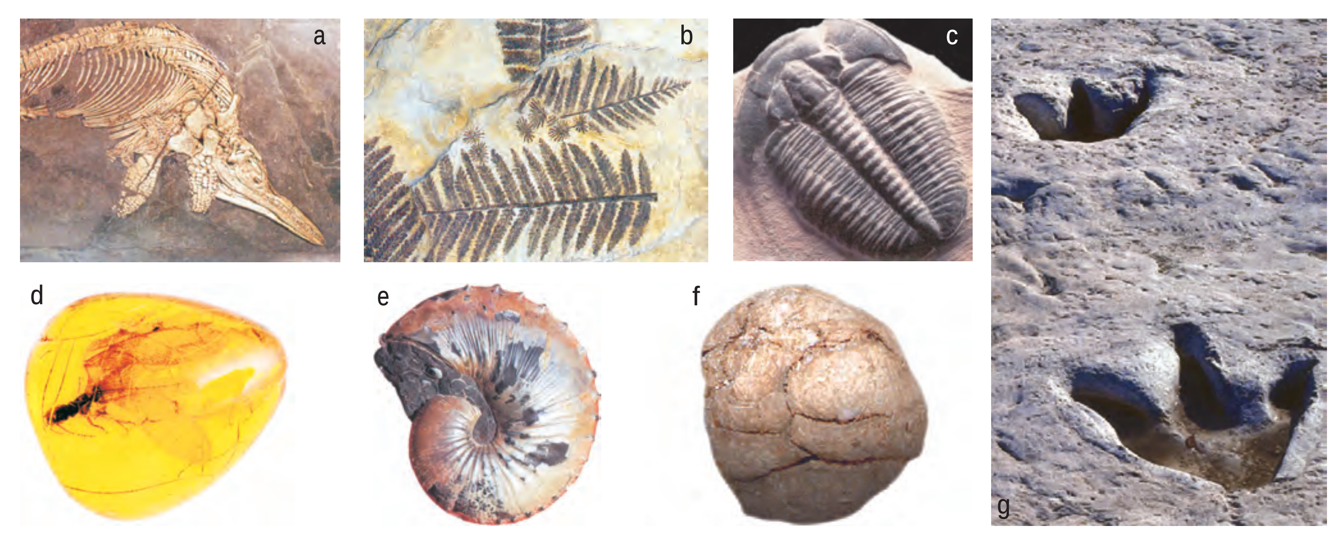


Figura 5.16 Fósiles: a) Esqueleto de ictiosaurio, b) impresión de helecho, c) impresión de un trilobites, d) insecto en ámbar, e) un caracol petrificado, f) heces fosilizadas (coprolitos) de perezoso con una antigüedad de 20 mil años, g) huellas de un dinosaurio.

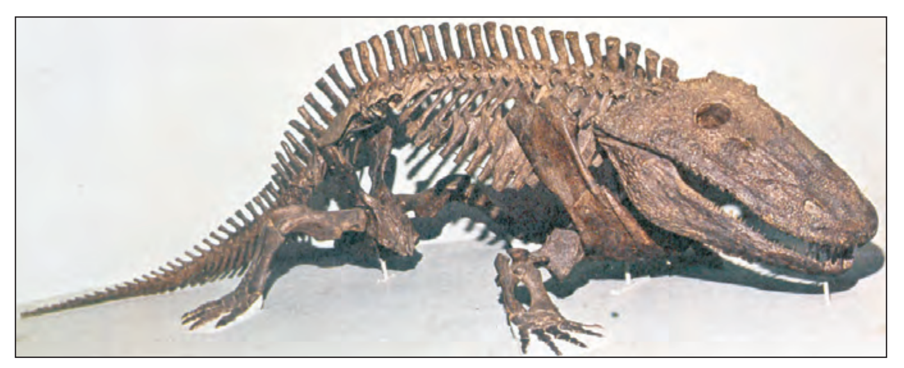


Figura 5.17 Esqueleto fósil de un anfibio *Eryops megacelus* que vivió hace unos 200 millones de años en los terrenos que corresponden hoy a Texas, en Estados Unidos.

ción. Otro tipo de fósil es aquél que sus partes duras y blandas han sido sustituidas por minerales tales como el hierro y el sílice, este proceso se conoce como "petrificación". Los bosques petrificados que existen en muchos lugares del mundo son ejemplo de este proceso. El caso de los insectos atrapados en ámbar (resina endurecida de un árbol) es otro buen ejemplo de fósiles. Muchos otros son esqueletos de vertebrados; algunos más son las impresiones dejadas en el fango por plantas y animales. A medida que el organismo se descompone, su forma queda grabada en el fango, mismo que con el tiempo se endurece formando una roca con la impresión visible del fósil. En la figura 5.16 se muestran algunos de los tipos más comunes de fósiles.

Los fósiles son la prueba más concreta de la evolución y de que esta es un fenómeno continuo, ya que nos permiten conocer los cambios de los organismos a través del tiempo. Por ejemplo, se han encontrado las series continuas de fósiles de organismos como el elefante, el camello y el caballo (figura 5.20). También se han encontrado fósiles de organismos a los que se les identifica como "formas de transición", ya que tienen características intermedias entre dos clases de organismos diferentes. Entre estos fósiles tenemos el del pez–anfibio *Eusthenopteron*, el del anfibio-reptil *Seymouria* y el del reptil–ave *Archaeopteryx*. Observa las figuras 5.21 y 5.22.

Actualmente los paleontólogos han descrito y nombrado unas 300 mil especies fósiles, y siempre están descubriéndose más.

Determinación de la edad de los fósiles



Figura 5.18 Esqueleto de mamut. Este animal tenía el aspecto de un elefante cubierto de pelo espeso, con colmillos muy largos y curvos. Vivía en rebaños y se alimentaba de plantas; se extinguió hace unos 30 mil años.

Siempre ha sido una inquietud cómo saber qué edad o qué tan antiguos son aquellos fósiles que se han encontrado. La antropología, para determinar la edad de los fósiles, ha usado diversas técnicas sofisticadas con bases científicas como son los métodos de los **isótopos radiactivos**. Algunos de los elementos que constituyen los fósiles o la roca en la que se encuentran son radiactivos, mismos que se descomponen en otros elementos no radiactivos a una velocidad conocida.

La edad de un fósil puede ser determinada a partir de la posición de la roca donde se le encuentra. Las capas de roca se acomodan unas sobre otras con el paso del tiempo, por lo que las capas más antiguas están en el fondo, y las más recientes están en la parte más alta. Un fósil es considerado más antiguo que otro si se encuentra en capas más profundas. Tal comparación, no proporciona la edad, sólo nos indica si un fósil es más antiguo que otro.



Figura 5.19 Paleontólogo chino con huevos fosilizados de diversos dinosaurios. Al investigar los nidos, huevos y embriones dentro de ellos, se ha logrado saber mucho acerca de la vida de los dinosaurios. La mayoría de ellos vivieron en el período Cretácico, entre los 145 y 65 millones de años. Los depósitos de huevos más ricos se localizan en China, Mongolia, Argentina, India y en las grandes planicies de Norteamérica.

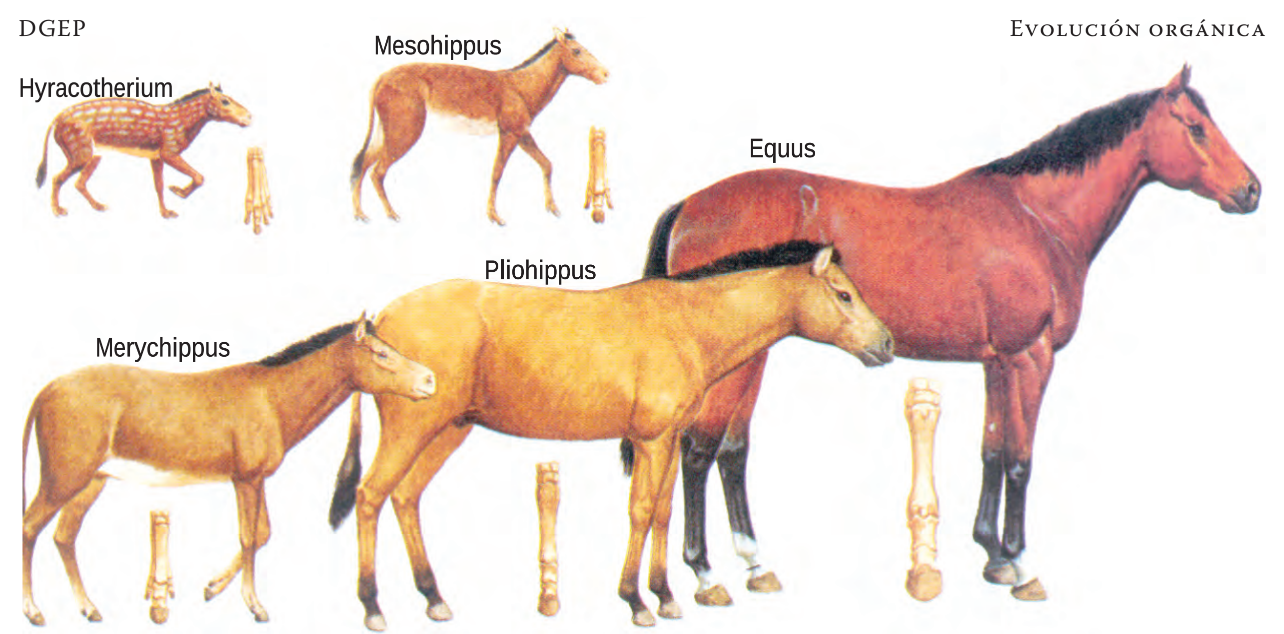


Figura 5.20 En el caballo, los restos fósiles encontrados han permitido conocer las etapas evolutivas por las que ha pasado esta especie. Observa la reducción progresiva del número de dedos hasta transformarse en un sólo dedo.

La edad de la roca puede ser estimada por análisis de los elementos que contiene. Muchos elementos existen en uno o más isótopos, algunos de los cuales son radiactivos. Los isótopos radiactivos son los que sufren cambios por desintegración radiactiva. Durante la desintegración del átomo, se desprende una partícula y una cantidad de energía, lo que hace que el átomo original se vaya transformando a cierta velocidad que se le conoce como "vida media". La vida media de un elemento es el tiempo que toma la mitad de los átomos en una muestra en transformarse en átomos de otro elemento. Un isótopo muy conocido es el potasio, con un peso atómico de 40 y se simboliza como K^{40}; su vida media es de 1 300 millones de años, transformándose en argón 40 (Ar^{40}).

Este método para determinar la edad de las rocas utilizando el K^{40}, es conocido como potasio-argón. El potasio es localizado en los cristales de ciertos tipos de rocas, es ese potasio el que se va transformando, con el paso del tiempo, en argón gaseoso que queda atrapado en la misma roca. La cantidad de argón se compara con la cantidad de K^{40} que existe en la roca. De esta proporción, los científicos calculan desde cuando se formó la roca. Los fósiles que se encuentran en esa roca, se asume que tienen la misma edad. Por ejemplo, si en cierta roca se encuentra que existe la misma cantidad de potasio y argón, esa roca tiene una edad de 1 300 millones de años; si encontráramos 75 por ciento de argón, la edad será de 2 600 millones de años.

Otro método para determinar la edad en fósiles jóvenes es el del car-



Figura 5.21 Esqueleto fósil de *Seymouria baylorensis,* vertebrado del período pérmico (era paleozoica) con características intermedias entre los anfibios y los reptiles.

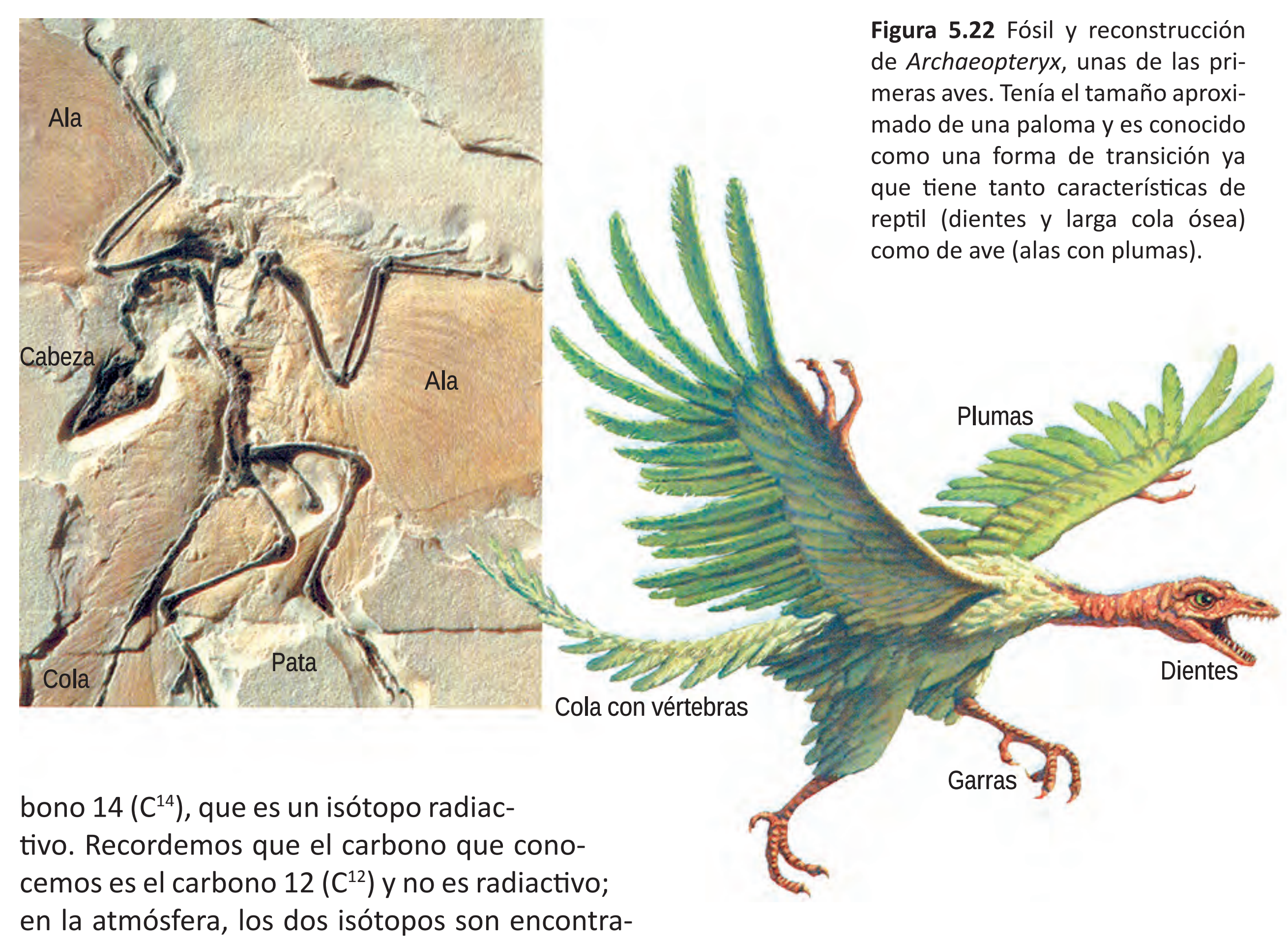


Figura 5.22 Fósil y reconstrucción de *Archaeopteryx*, unas de las primeras aves. Tenía el tamaño aproximado de una paloma y es conocido como una forma de transición ya que tiene tanto características de reptil (dientes y larga cola ósea) como de ave (alas con plumas).

bono 14 (C^{14}), que es un isótopo radiactivo. Recordemos que el carbono que conocemos es el carbono 12 (C^{12}) y no es radiactivo; en la atmósfera, los dos isótopos son encontrados en cierta proporción. Considerando que los organismos vivos siempre están tomando carbono vía de los alimentos, la proporción de C^{12} y C^{14} es la misma que en la atmósfera. Cuando el organismo muere, ya no incorpora carbono, solamente se transforma el C^{14} ya existente en C^{12}. La vida media del C^{14} es de 5 mil 600 años. Por comparación de la nueva proporción de estos isótopos en un organismo, se puede determinar la edad de un fósil menor de 50 mil años, como puede ser el caso del humano.

Evidencias en los organismos actuales

Los organismos que actualmente viven se consideran como los extremos de ramas en un árbol filogenético; el tronco individual de un árbol filogenético representa el primer organismo vivo. Todos los organismos comparten un antecesor común que sería la primera célula viviente; los organismos que son muy diferentes, tales como una planta y un animal, comparten un antecesor extremadamente antiguo. Sus dos ramas fueron separados en la historia evolutiva. Los organismos cercanamente relacionados, tales como el perro y el coyote, tienen muchas características similares porque comparten un antecesor común reciente. Sus dos ramas en el árbol filogenético se separaron hace relativamente poco tiempo. El antecesor común más reciente es el más relacionado con los dos organismos. Los científicos identifican la evidencia de esas relaciones al estudiar diferencias y similitudes entre las características de los organismos.

Anatomía comparada

Las características similares en la anatomía o estructura de los organismos provee evidencias de que la evolución ha ocurrido y es usada como criterio para determinar los ancestros comunes. Algunos organismos pueden parecer diferentes superficialmente, siendo similares internamente. Estas similitudes fueron heredadas de una especie antecesora.

Las estructuras que son similares a causa de ser heredadas de un antecesor común y que pueden tener funciones diferentes, son llamadas **estructuras homólogas**. La estructura heredada puede ser modificada al desarrollarse en diferentes ambientes, pero la estructura básica continúa siendo la misma. Por ejemplo, la mayoría de los anfibios, reptiles, aves y mamíferos tienen un cuerpo con cuatro extremidades y cabeza con dos ojos, una nariz, y una boca. Estas estructuras son homólogas porque ellos las heredaron de un antecesor común. En la figura 5.23 observa la homología estructural entre el brazo humano, la pata delantera de un gato, la aleta de una ballena y el ala de un mirciélago. Determina cuáles son los huesos homólogos en cada extremidad.

Algunas veces, los organismos tienen porciones de órganos o estructuras que no tienen uso, pero que existen porque han sido heredados de su antecesor. Estas estructuras sin función son llamadas **estructuras vestigiales**. Estas estructuras son homólogas a estructuras funcionales en otros organismos. Las estructuras vestigiales sugieren algunas de las características de los ante-

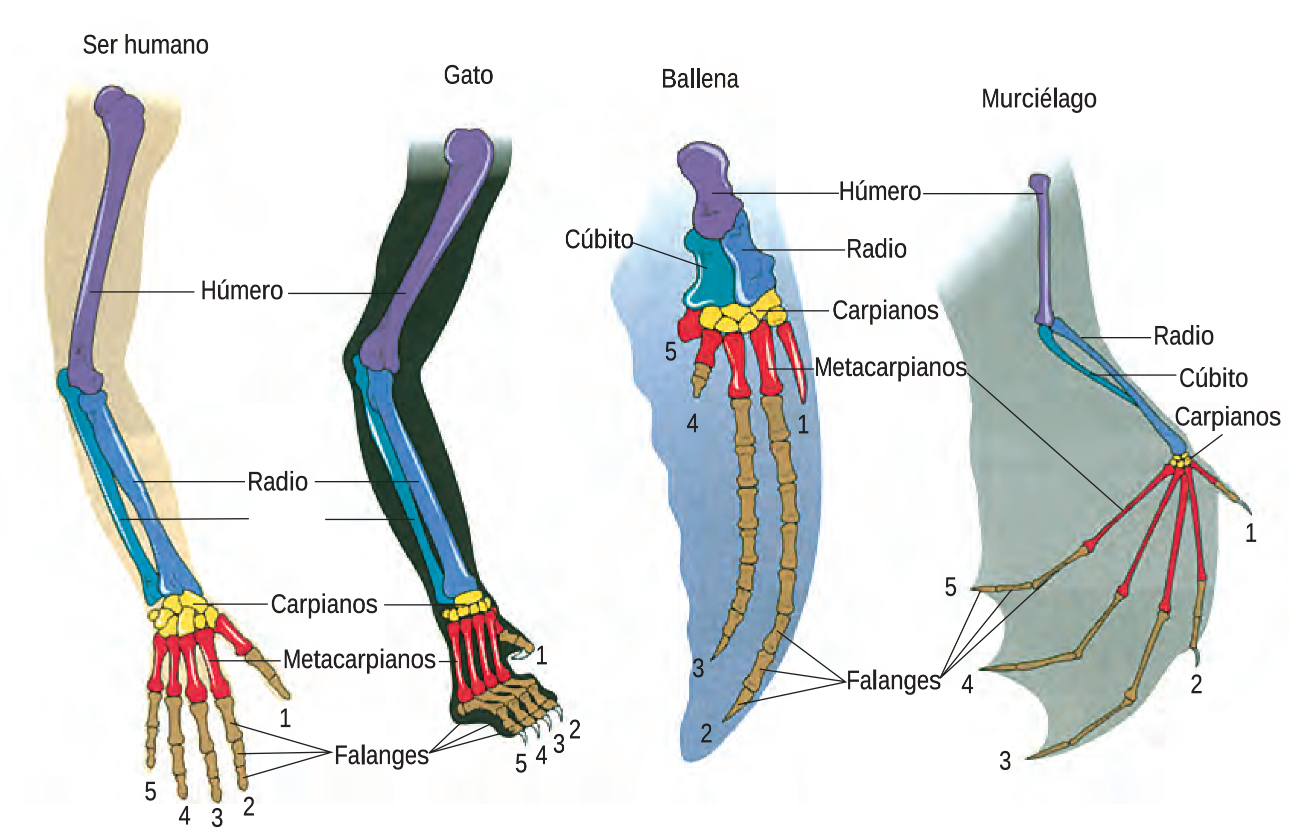


Figura 5.23 Homología estructural. El brazo humano, la pata delantera del gato, la aleta de una ballena y el ala del murciélago comparten una semejanza estructural ósea básica porque todos provienen de un ancestro común. Los huesos homólogos se indican con el mismo color.

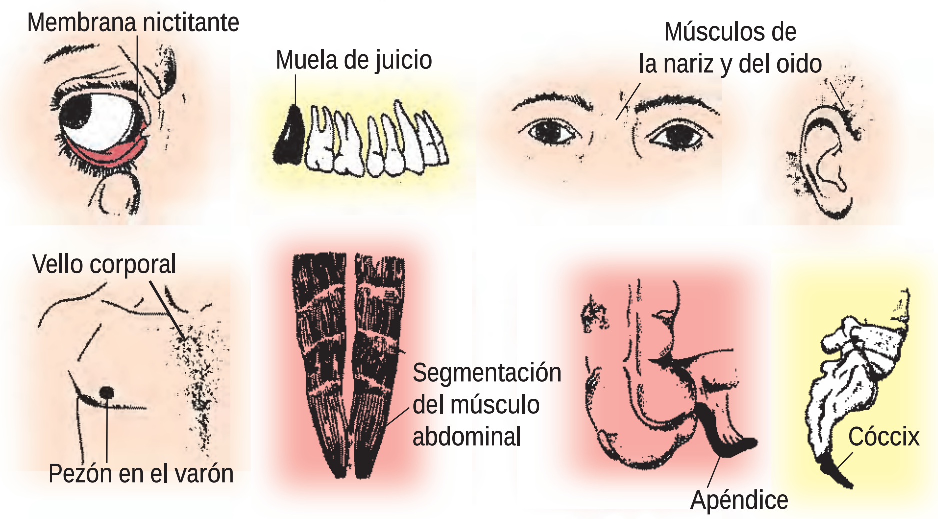


Figura 5.24 Algunas estructuras vestigiales en el ser humano.

cesores de los organismos modernos. En el ser humano, más de 100 estructuras se consideran vestigiales, como el apéndice, el cóccix (vértebras caudales fusionadas), el vello corporal, los terceros molares o muelas del juicio y los músculos que mueven las orejas. La figura 5.24 muestra algunos órganos vestigiales en el ser humano. Otro ejemplo son los inútiles huesos de patas en algunas serpientes. Estos huesos son evidencia de que los antecesores de las serpientes tenían patas funcionales, por eso se cree que evolucionaron de los lagartos. Las ballenas y los pitones tienen huesos de patas traseras vestigiales localizados en el abdomen.

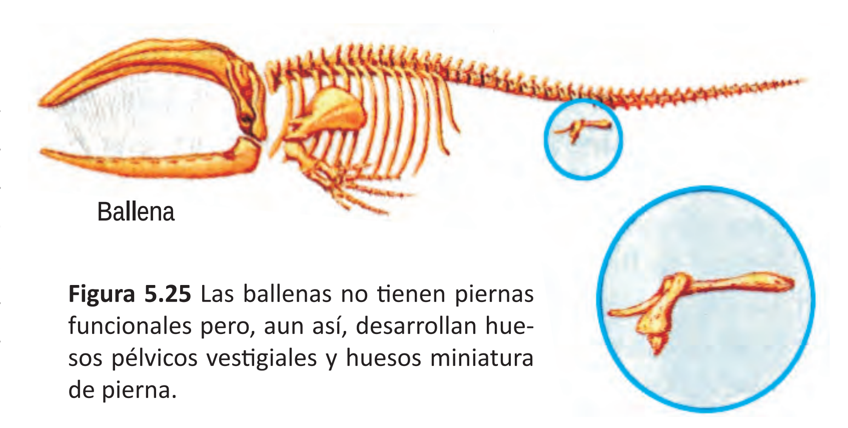


Figura 5.25 Las ballenas no tienen piernas funcionales pero, aun así, desarrollan huesos pélvicos vestigiales y huesos miniatura de pierna.

Embriología comparada

Los embriones de organismos emparentados se desarrollan en formas muy similares. Frecuentemente, las características que tienen han sido perdidas en los adultos de una especie, pero continúa estando presente en el embrión. Los embriones de diferentes vertebrados son estructuralmente semejantes durante ciertas etapas primarias, en estas primeras etapas es difícil diferenciar un embrión de otro. Así, en todos los embriones de vertebrados, incluyendo a los humanos, hay pliegues de tejido en la región del cuello llamados **hendiduras o sacos branquiales**. Estas hendiduras se desarrollan en branquias funcionales en peces y anfibios jóvenes. Por supuesto, reptiles, aves, y mamíferos nunca desarrollan branquias funcionales; sin embargo, los pliegues aparecen en los embriones y se piensa que han sido heredados de un antecesor común parecido a los peces. Observa la figura 5.26 y localiza en los embriones las hendiduras branquiales. Otras similaridades también existen entre las larvas y embriones de otros animales, y entre los embriones de las plantas.

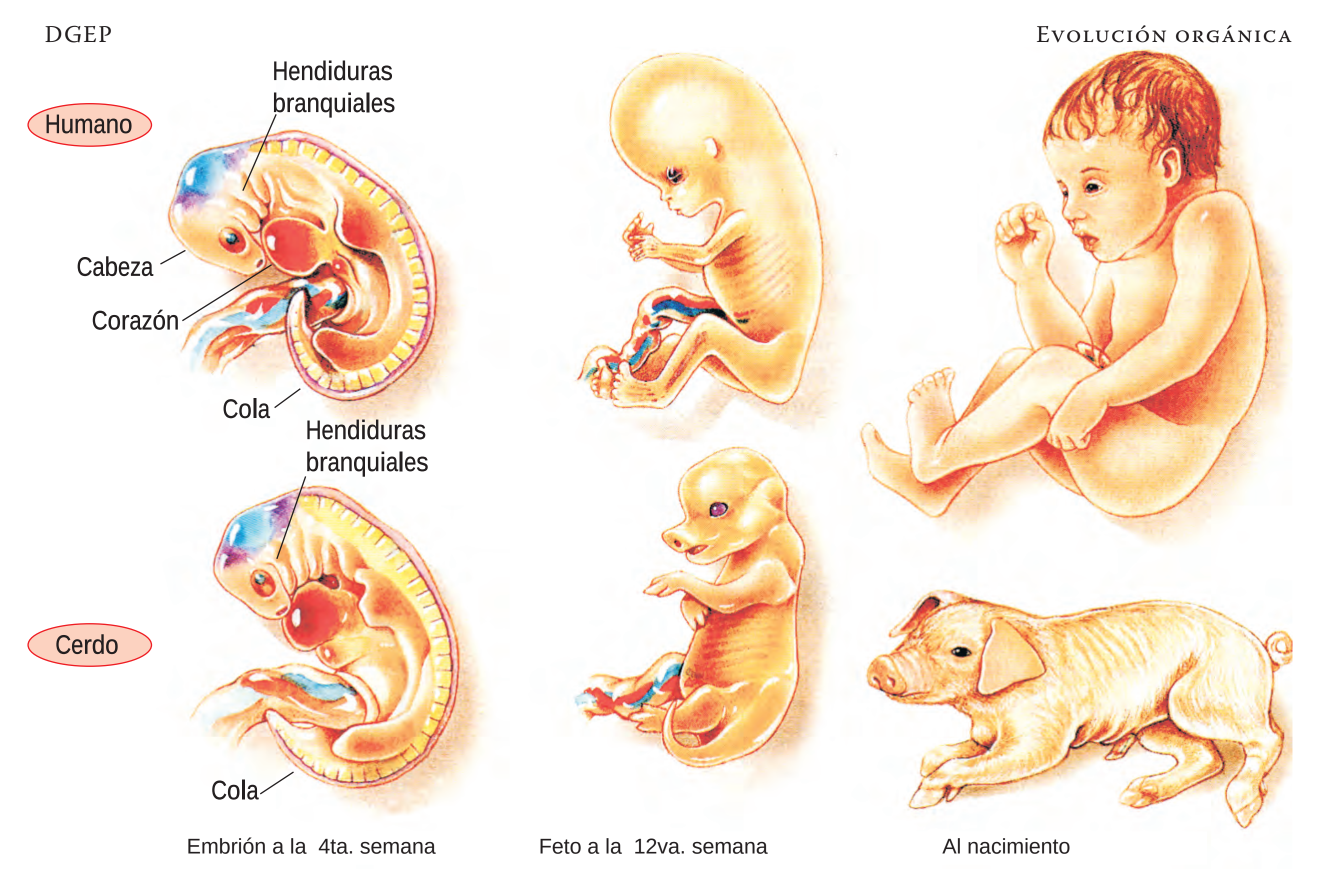


Figura 5.26 Diferentes estados en el desarrollo de dos organismos vertebrados. Observa la gran similitud de los embriones en la cuarta semana. En este estadío, el embrión humano y el del cerdo presentan hendiduras branquiales y cola. Las diferencias se acentúan a medida que avanza el desarrollo.

Bioquímica comparada

Todos los organismos tienen una gran similitud en su composición química. Algunas de las evidencias más convincentes del ancestro común de todas las formas de vida se encuentra en la bioquímica de las células. Por ejemplo, la dependencia de todos los seres vivos sobre el **agua** es una característica básica que es compartida por todas las formas vivientes.

Hay también similaridades impresionantes en los compuestos orgánicos encontrados en todos los organismos; todas las formas de vida encontradas en la Tierra están basadas en el carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y fósforo. Estos cinco elementos junto con otros elementos en pequeñas cantidades forman las moléculas orgánicas comunes a todas las células: **lípidos**, **carbohidratos**, **proteínas** y **ácidos nucleicos**. Además, todos los organismos utilizan las moléculas de **ATP** en la transferencia de energía.

Un aspecto fundamental que muestra fuerte evidencia acerca del origen común de todas las formas de vida desde el punto de vista de la bioquímica es el código genético, expresado por la participación del ADN y ARN. El alfabeto genético de cuatro letras (adenina, timina, citosina y guanina) existe en cada forma de vida en la Tierra, aun más, los procesos de síntesis de proteínas son casi idénticos en todos los eucariotes. Los organismos que tienen un antecesor común reciente tienen una genética similar. Puede decirse que el **código genético es universal**, o sea, que existe un código único para todos los organismos presentes y pasados. Ha quedado claro que el código genético pudo haberse desarrollado junto con la primera bacteria hace unos 3 mil 500 millones de años y, desde entonces, ha cambiado relativamente poco a través de la evolución biológica.

Especiación

Una **especie** es una población de organismos que pueden aparearse y producir descendencia saludable y fértil. La selección natural modifica las poblaciones de una generación a la siguiente tanto como se pueda adaptar al ambiente. Algunas veces los cambios evolutivos son tan grandes que los organismos resultantes no pueden entrecruzarse con la población original. Cuando esto ocurre, la población que sufrió los cambios se le considera una nueva especie. Cuando una o más nuevas especies se ramifican de la antecesora, se habla de que la especiación ha tenido lugar.

Aislamiento

La especiación usualmente inicia con el aislamiento de una parte de la población. El **aislamiento** puede ocurrir cuando un grupo emigra lejos de las población principal, también puede ser causado por la formación de barreras naturales tales como los ríos que dividen la población. El entrecruzamiento se dificulta entre dos grupos separados por la distancia o por barreras.

Después de que los dos grupos son aislados unos de otros, las diferencias entre ellos se empiezan a acumular. En efecto, es probable que las dos poblaciones tengan algunas diferencias entre ellas desde el inicio a causa de su acervo genético o conjunto de genes (poza génica o pool génico).Por casualidad, el acervo de genes en los dos nuevos grupos puede no ser exactamente el mismo que el acervo genético en la población original. Tal diferencia es especialmente probable si uno de los grupos es pequeño.

En cada grupo, la mutación y la recombinación producirá variación. Si las poblaciones de cada grupo son aisladas, los cambios que suceden en cada una de ellas serán diferentes; cada población está ahora evolucionando independientemente. Cuando las poblaciones aisladas evolucionan independientemente, el proceso es llamado **evolución divergente**. Si las dos poblaciones permanecen separadas lo suficiente, ellas eventualmente estarán aisladas reproductivamente y serán tan diferentes que no podrán entrecruzarse los miembros de las dos poblaciones. Una vez que el aislamiento reproductivo se da, los dos grupos serán especies diferentes.

Radiación adaptativa

Sobre el curso del tiempo, muchas nuevas especies han venido de especies ancestrales. La ramificación de un ancestro que da origen a nuevas especies que se adaptan a nichos diferentes es llamado **radiación adaptativa**. Este proceso es un resultado de la evolución divergente. Un ejemplo de evolución adaptativa es la de los





Figura 5.27 Tanto el koala como el canguro son ejemplos de la radiación adaptativa que se llevó a cabo hace millones de años en Australia, a partir de un marsupial ancestral.

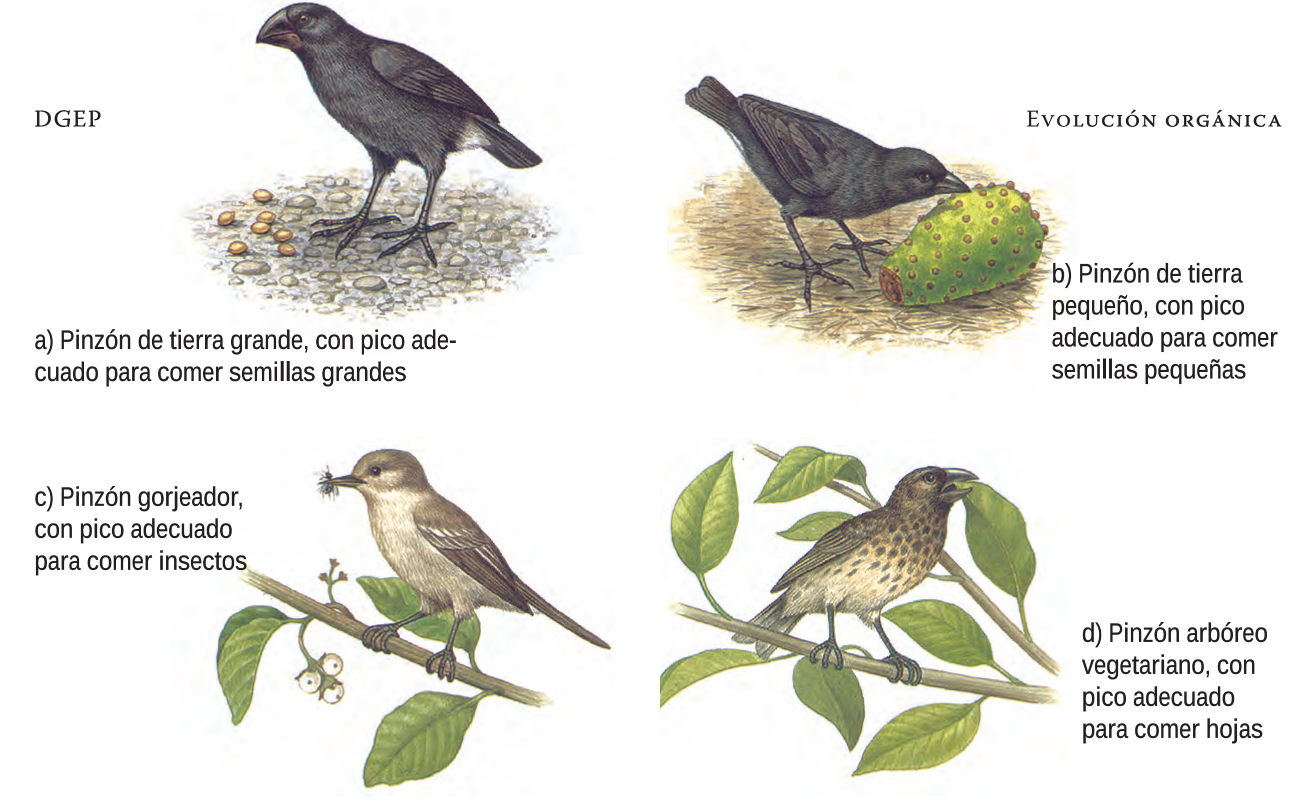


Figura 5.28 En las Islas Galápagos, Darwin encontró trece especies de pinzones, cuya principal diferencia era su pico adaptado a un determinado alimento. Aquí se muestran cuatro de esas especies. La similitud entre las trece especies de pinzones hacía pensar a Darwin que estos se habían originado de una sola especie que llegó a la isla.

marsupiales (mamíferos con bolsa) en Australia. Se cree que hace millones de años, a partir de un marsupial ancestral, han evolucionado los actuales marsupiales (figura 5.27). Evidentemente, este es un proceso evolutivo que se dio en gran escala tanto en tiempo como en espacio.

La radiación adaptativa también puede tener lugar en una escala muy pequeña, como la representada por los pinzones de Darwin y las tortugas gigantes de las Islas Galápagos.

Evolución convergente

Los organismos con ancestros diferentes pueden evolucionar desarrollando características parecidas como resultado de adaptarse a un medio ambiente similar. Cuando diferentes tipos de organismos desarrollan características similares, esto se conoce como **evolución convergente**. Por ejemplo, las alas han evolucionado no sólo en las aves, sino en los mamíferos (murciélagos) y en insectos. Las alas del murciélago, pájaros e insectos se denominan **estructuras análogas**.

Las estructuras análogas son similares en función y apariencia, pero no en el origen. Se consideran el resultado de la evolución convergente. Observa un ejemplo de evolución convergente en la figura 5.29.

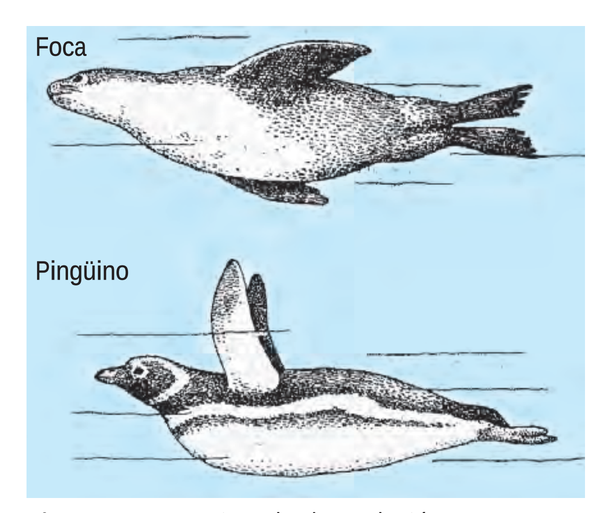


Figura 5.29 Un ejemplo de evolución convergente son la foca (mamífero) y el pingüino (ave), ya que ambos animales desarrollaron características parecidas al adaptarse a un medio ambiente similar. Ambos poseen un cuerpo aerodinámico, capas de grasa bajo la piel y aletas que usan para nadar.

Evolución humana

Hemos llegado a un tema por demás interesante para todos nosotros: el origen del ser humano.

No fue sino hasta finales del siglo XIX que se escribieron algunos artículos y libros científicos sobre el posible origen de los seres humanos, uno de los más conocidos y polémicos fue el libro escrito por **Charles Darwin** titulado *La descendencia del hombre*, publicado en 1871. En este libro, Darwin explicaba que el ser humano era un animal y descendía de animales similares al mono, en lugar de haber sido creado tal como actualmente existe. Darwin apoyó su idea en pruebas tomadas de seres humanos y de otros primates vivos, ya que hasta ese momento no se habían encontrado fósiles de ancestros humanos. A partir de entonces, empezó a afianzarse la idea de que los seres humanos y los monos actuales habían evolucionado de un ancestro común muy antiguo. La historia de nuestros ancestros o de la evolución humana está basada en la serie de fósiles hasta ahora encontrados, los cuales, lamentablemente, no son comunes y están incompletos. Sin embargo, a pesar de esta limitación, hay pruebas fósiles suficientes para sugerir la secuencia de cambios corporales que deben de haber ocurrido durante el proceso de hominización o aparición del humano actual (*Homo sapiens*). Los fósiles indican que la especie humana, tal y como es en la actualidad, ya existía hace 50 mil años.

Primates

El ser humano, como especie biológica, fue denominada por Carlos Linneo con el nombre científico de *Homo sapiens* (*homo*= hombre; *sapiens*= sabio, conocedor) y, actualmente, se incluye dentro de los mamíferos placentarios, en el orden de los **primates**. Además del humano, este orden está constituido por los **lémures**, **tarsios**, **monos** y **simios**. Los científicos ubican a los humanos entre los primates porque comparten características importantes. Los primates tienen manos fuertes y dedos largos con pulgares oponibles que pueden asirse a las ramas; uñas planas sobre los dedos de manos y patas. Los brazos de los primates pueden moverse libremente al estar articulados con el hombro. Tal movimiento del hombro permite a los primates columpiarse de mano en mano mientras escala. Los ojos están ubicados en el frente de la cara, así pueden calcular las distancias y ver a sus presas.

Estas características se encuentran en los primates arborícolas, pero los primates tales como los humanos y gorilas que no viven en los árboles, conservan esas características. Los científicos infieren que las características fueron heredadas de un ancestro arborícola compartido por humanos y otros primates. Además de las adaptaciones para escalar árboles, los primates comparten otros rasgos; tienden a ser animales inteligentes con cerebro relativamente grande. La mayoría de ellos tienen una conducta social compleja y toman el cuidado de sus crías por un largo tiempo después de su nacimiento. Los cuidados paternos prolongados pueden ser, quizás, una adaptación a la vida arborícola. Un bebé no puede volar o escalar, y no sobrevivirá mucho en los árboles sin la atención constante de la madre.

Los humanos comparten todas esas características, pero también hay otras que los separan. Por ejemplo, ningún otro primate puede caminar erguido unos cuantos pasos a la vez. La postura erguida capacita a los primates para desplazarse y viajar más facilmente. La capacidad para caminar sobre las dos piernas se llama **locomoción bípeda**. El caminar con las piernas permite tener

las manos libres para usar herramientas y otros objetos. El cerebro es mucho más grande que el de cualquier otro primate, incluido el gorila, cuyo cuerpo es generalmente más grande que el del humano. Además, el cerebro humano tiene áreas que controlan el habla y el entendimiento del lenguaje. Otros primates pueden comunicarse con sonidos y gestos, pero sólo los humanos han desarrollado el habla que lo capacita para acumular información y compartir ideas complejas con sus crías. El habla es un factor importante en la civilización humana.

Evolución de los primates

De todos los primates fósiles conocidos, el más antiguo tiene 65 millones de años y fue encontrado en una colina del estado norteamericano de Montana, en 1965. Este primate conocido como *Purgatorius* vivió en los últimos años de los dinosaurios, se alimentaba de hojas e insectos, habitaba en los árboles y se parecía a las musarañas arborícolas de hoy. Muchos grupos de los primeros mamíferos aparecieron al mismo tiempo en el registro fósil. Hace 35 millones de años, los primeros primates se dividieron en dos grupos, los **prosimios** y los **antropoides**.

Prosimios

Los **prosimios** son los primates más primitivos debido a que son los más similares a los primeros primates ancestrales. Los prosimios son animales arborícolas pequeños , parecidos a los monos. La mayoría de ellos son nocturnos. También poseen grandes ojos dirigidos hacia adelante; el tamaño de sus ojos es una adaptación a sus actividades nocturnas. Los prosimios abundaron en el pasado en todo el mundo. Actualmente, sólo se localizan en las regiones tropicales de África, Asia y en la Isla de Madagascar. Los prosimios actuales incluyen a los **társidos**, **lémures** y **gálagos**, los cuales varían muy poco de los prosimios originales. Identifícalos en la figuras 5.30 y 5.31.



Figura 5.30 Lémur, animal pequeño y arborícola. Actualmente viven en Asia y África tropicales y en la Isla de Madagascar.



Figura 5.31 Tarsio, se les localiza solamente en las Indias Orientales. Es un animal pequeño de grandes ojos, con hábitos nocturnos, con cojinetes adhesivos en los dedos, lo cual le permite colgarse de los árboles.

Antropoides

La palabra **antropoide** significa "parecido a humano". En los antropoides se incluye a los **monos**, los **simios** y los **humanos**. Poco después de que los antropoides y los prosimios se separaron, los antropoides se desarrollaron en dos grupos. Un grupo se desarrolló en el continente americano y el otro en los continentes asiático, europeo y africano, por lo que evolucionaron independientemente.

Los antropoides del continente americano o monos del Nuevo Mundo se localizan en América Central y del Sur. Estos monos tienen nariz chata y ancha, largas colas prensiles mediante las cuales pueden agarrarse fuertemente a las ramas de los árboles. Son ejemplos, los monos araña, capuchinos, aulladores y los titís. Observa el mono araña de la figura 5.32.

Los antropoides de Europa-Asia-África, se desarrollaron en dos grupos. Uno de ellos formado por los monos del Viejo Mundo y otro por los grandes simios y el humano. Los monos del Viejo Mundo tienen una nariz mucho más estrecha que los del Nuevo Mundo y sus colas no son prensiles. Algunos monos del Viejo Mundo son el papión, el mandril, el macaco, el mono rhesus y el babuino.

Los grandes simios constituyen la familia *Pongidae* y son; el gibón, el orangután, el chimpancé y el gorila.

Evidencias recientes de estudios genéticos muestran que los chimpancés son los más cercanos al ser humano. Comparten un 98% de ADN.



Figura 5.32 Mono araña, habitante de las selvas americanas. Poseedor, al igual que el resto de los monos del Nuevo Mundo, de una cola prensil que utilizan como una "quinta mano".





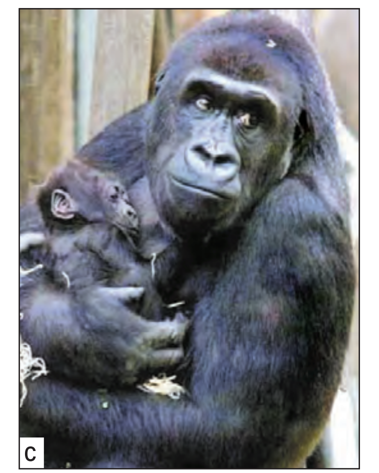




Figura 5.33 Los grandes simios; a) orangután, b) chimpancé, c) gorila y d) gibón.

Humano
98.2% similar
Chimpancé
97.7% similar
Gorila
96.3% similar
Orangután
Del grupo de los monos
92.0% similar
Millones de años 15 8 5 Presente

Figura 5.34 Los estudios comparativos de las secuencias de bases nitrogenadas del ADN muestran que los chimpancés están más emparentados al humano que a los gorilas o a cualquier otro simio. *¿Qué porcentaje de ADN comparten humanos y chimpancés?*

Primeros homínidos

Todos los antropoides que pertenecen a la familia humana son llamados **homínidos**; el humano moderno pertenece, como ya se mencionó, a la especie *Homo sapiens*. Esa especie es la única de los homínidos que vive en la actualidad. En el pasado, sin embargo, había varias especies de homínidos. Algunos de esos homínidos extintos fueron los antecesores del humano actual. Otros fueron ramas laterales del árbol genealógico del ser humano. El científico que estudia los orígenes y la evolución biológica y cultural del ser humano es llamado **antropólogo**.

Durante la mayor parte de la historia de los homínidos, más de una especie vivió al mismo tiempo. Los antropólogos no están de acuerdo en el porqué hoy están extintos esos homínidos; sin embargo, algunos piensan que pudo haber sido por competencia con otros homínidos. Enseguida se describen algunos de los fósiles de ancestros del ser humano más conocidos.

Australopithecus

Los científicos aún no identifican el primer ancestro humano que lo separa de los monos. La evidencia fósil sugiere que la separación ocurrió hace aproximadamente 5 u 8 millones de años.

Los A*ustralopithecus* son los fósiles de homínidos más antiguos descubiertos hasta la fecha. Son varias las especies que se han encontrado, la primera apareció hace 4.4 millones de años y la última se extinguió hace apenas un millón de años[3]. Los científicos los han nombrado *Australopithecus,* que significa “mono del Sur”, ya que el primer fósil fue descubierto en el Sur de África.

[3] (4 .4 millones): 4 millones 400 mil años

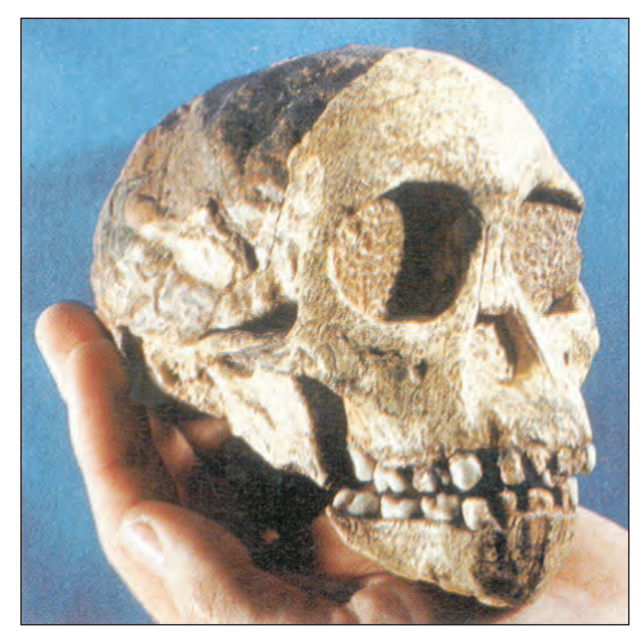


Figura 5.35 Cráneo del niño de Taung, que fue encontrado en una cantera de piedra caliza en 1924.

En 1924, el anatomista **Raymond Dart** hizo el primer descubrimiento de un *Australopithecus*. El fósil era el cráneo de un niño (figura 5.35) y fue encontrado en una cantera en Taung Sudáfrica. Dart le llamó *Australopithecus africanus* y se cree que vivió entre 2.7 y 2.1 millones de años. El hallazgo de este fósil es un tanto curioso ya que fue encontrado por el geólogo G. B. Young, en el despacho del director de una mina en Taung, donde era utilizado como pisapapeles. Young se lo llevó a Dart, quien lo identificó.

Otra especie de *Australopithecus* fue descubierta en 1974 por el norteamericano Donald Johanson en la región de Afar, en Etiopía. Johanson encontró 52 huesos del esqueleto de un homínido de sexo femenino (figura 5.36). En esos años, la canción de moda era "Lucy en el cielo de diamantes", lo que dio motivo para que llamaran "Lucy" a este esqueleto. Johanson y su equipo decidieron que el esqueleto de Lucy era lo suficientemente diferente de los otros fósiles de *Australopithecus* como para ser ubicado entre estos. Por lo que le nombraron *Australopithecus afarensis*, en referencia a la región en la que fue encontrado. *A. afarensis* es más antiguo que *A. africanus,* estimándose que vivió hace 3 millones de años.

Ambas especies de *Australopithecus* son considerados homínidos, principalmente por la forma en que caminaban. Los huesos de la cadera indican que caminaban erguidos sobre las dos piernas como los humanos en la actualidad. El *Australopithecus*



Figura 5.36 Reconstrucción y esqueleto de "Lucy". Debido a la gran cantidad de huesos encontrados es una de los *Australopithecus* mejor estudiados. Lucy tenía una estatura de 105 cm. y pesaba 27 kg. *¿Cómo era su locomoción?*



Figura 5.37 Mary Leakey científica inglesa que ha realizado algunos de los descubrimientos arqueológicos y antropológicos más significativos del siglo XX.

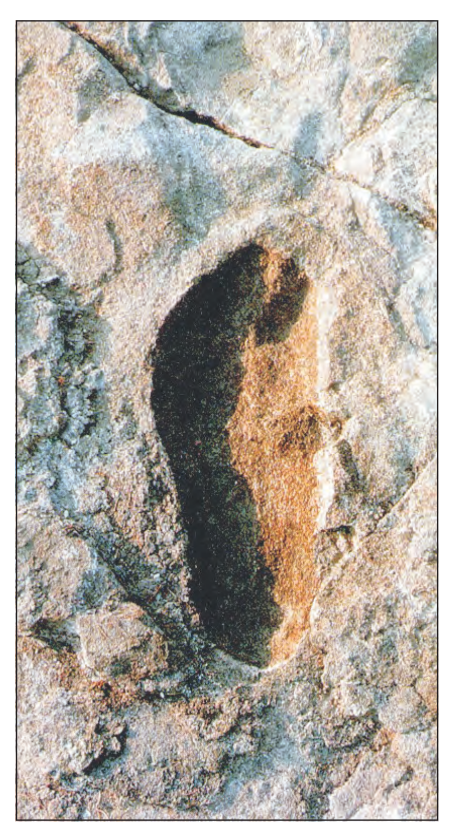


Figura 5.38 Huella fosilizada de pisada de *Australopithecus*, descubiertas por Mary Leakey. Estas huellas se extienden a lo largo de 25 metros.

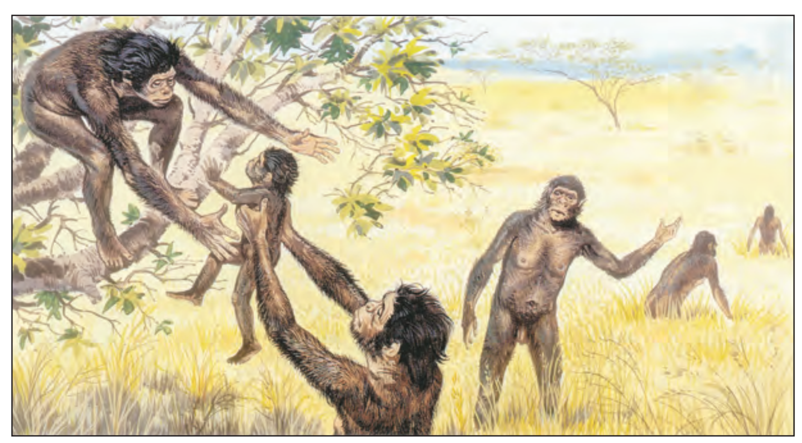


Figura 5.39 Dibujo que nos muestra un grupo de *Australopithecus afarensis*. Pasaban parte del tiempo en los árboles y su locomoción era bípeda.

también tenía estructuras como las de los monos. Comparados con sus piernas, los brazos eran más largos que los brazos humanos modernos. También, su cerebro tenía dimensiones similares a la de los monos con una capacidad craneal de 350-400 centímetros cúbicos.

La **locomoción bípeda**, o en dos pies de los *Australopithecus* se corrobora con el descubrimiento, en 1977, de las huellas de pisadas en Laetoli, Tanzania, por la antropóloga **Mary Leakey**. A estas huellas fósiles (ver figura 5.38) se les calcula una antigüedad de aproximadamente 3 millones 700 mil años.

La especie de *Australopithecus* más antigua fue descubierta en Etiopía, a partir de 1992, por el equipo que dirige Tim White, de la Universidad de Berkeley. Los fósiles encontrados son fragmentos de cráneos y huesos de brazos con una edad de 4.4 millones de años. A esta especie se le denominó *Australopithecus ramidus.*

Hace dos millones de años, aproximadamente, aparecieron otras dos especies de *Australopithecus*. Estas dos especies tenían huesos más duros y gruesos que los anteriores. Los científicos llamaron a estas nuevas especies *A. robustus* y *A. boisei.* Se está de acuerdo en que estas dos especies no fueron antecesores del hombre moderno, pero que sí fueron ramas del árbol genealógico que se extinguieron apenas hace un millón de años.

Casi todos los antropólogos están de acuerdo con que el *A. afarensis* o el *A. africanus* es el antepasado de los homínidos modernos, incluidos los seres humanos, mientras que otras especies como el *A. robustus* y *A. boisei* se extinguieron sin dejar descendientes.

Homo habilis

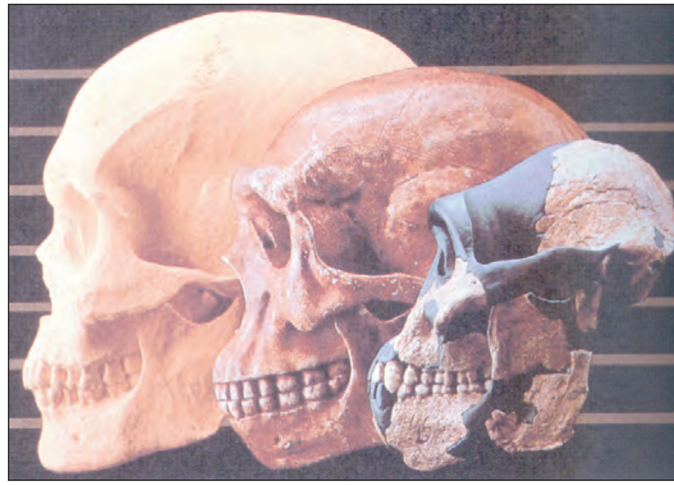


Figura 5.40 El cráneo de *Australopithecus afarensis* (derecha) tiene una capacidad craneal de 400 cm^3, en el *Homo erectus* (centro) es de 850 cm^3 y en el *Homo sapiens* moderno, el vólumen promedio es de 1 360 cm^3. Este incremento en la capacidad craneal se ha dado en los últimos 3 millones de años.

En 1964, el famoso equipo de arqueólogos de Louis y Mary Leakey anunciaron el descubrimiento de lo que parecía ser el primer homínido que usó herramientas talladas. Debido a que ellos hacían diferentes tipos de instrumentos de piedra y hueso, esa nueva especie fue llamada *Homo habilis* que significa "hombre habilidoso" El nombre del género *Homo* indica que el fósil está más relacionado con el humano moderno, *Homo sapiens*, que con otras especies de homínidos. *Australopithecus* fue el otro género de homínidos. Los científicos generalmente están de acuerdo en que *Homo habilis* fue el ancestro directo del humano moderno.

A mediados de la década de 1960, un grupo de científicos de Londres descubrió un pequeño fragmento de cráneo de homínido cerca de un lago en Kenya, en África. La pieza de cráneo fue depositada en el Museo Nacional de Kenya. Después de 25 años, otro grupo de científicos decidió estudiar el fragmento; resultando que era un fósil más antiguo de lo que se pensaba y con características del género *Homo*. Se determinó la edad del fósil en alrededor de 2.5 millones de años. Algunos guijarros tallados fueron encontrados cerca del fósil.

El cerebro de *Homo habilis* fue mucho más grande que alguno de las especies de *Australopithecus,* cerca de la mitad del moderno cerebro humano. El gran tamaño del cerebro evolucionó junto con la habilidad de fabricación de herramientas de estos primates inteligentes. *H. habilis* heredó de sus antecesores la habilidad para caminar erguido; la postura erguida permitía dejar las manos libres para usar herramientas que él mismo hacía.

Los *Homo habilis* compartieron territorio africano con *A. robustus* y *A. boisei* casi un millón de años. Alrededor de 1.5 millones de años, *H. habilis* dio lugar a otra especie con cerebro más desarrollado, el *Homo erectus* u hombre erguido.

Homo erectus

El cerebro de *Homo erectus* fue mucho más grande que el de *H. habilis*, aunque no tan grande como el del humano moderno. *H. erectus* era de cara ancha y voluminosa con mandíbula saliente, una amplia arcada dental con fuertes molares y premolares. Trabaja la piedra de una manera más refinada que *H. habilis.* Los grupos de *H. erectus* fueron los primeros humanos que emigraron de África hasta Asia y Europa. Huesos de *H. erectus* se han hallado en África, en la Isla de Java y en China. Los científicos siguen interpretando la evidencia fósil de *H. erectus*. Algunos arqueólogos piensan que sabía cómo producir el fuego. *H. erectus* también pudo haber vivido de la cacería y la recolección, como lo hizo el *H. habilis*. Los investigadores también piensan que

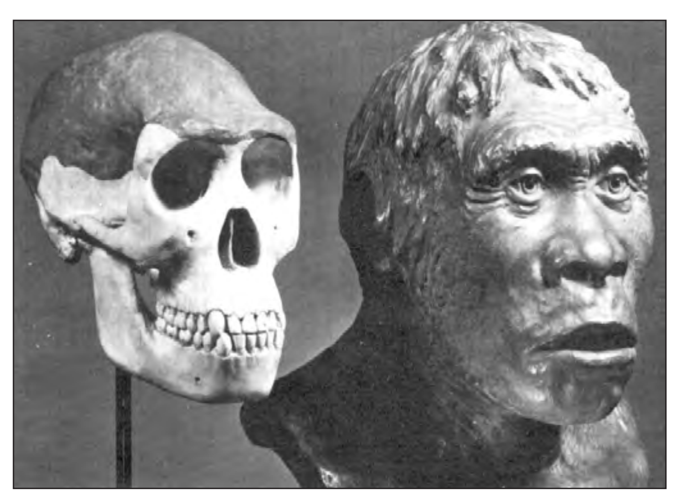


Figura 5.41 Hombre de Java, cráneo y reconstrucción del aspecto probable de su cara.

pudo haber vivido en refugios y haber usado ropa, debido a que vivieron en Europa del norte y Asia durante la época de los glaciares.

Homo sapiens

Los primeros miembros del *Homo sapiens* pueden haberse desarrollado del *H. erectus* hace entre 300 mil a 500 mil años. Dos grupos de *H. sapiens* están representados en el registro fósil: los **Neanderthal** y los **Cro-Magnon**. Los Cro-Magnon eran idénticos a los humanos modernos, diferían de los humanos de hoy sólo en su forma de vivir. Por otra parte, el destino que tuvieron los Neanderthal es una controversia en el debate de la evolución del ser humano.

Neanderthal

Los fósiles de los primeros humanos conocidos como **Neanderthal** fueron hallados por primera vez en el Valle de Neander en Alemania, en 1856. Estos fueron los primeros fósiles de los humanos prehistóricos. La mayoría de los científicos clasifican a los Neanderthal como una subespecie de *H. sapiens* y, posiblemente, un ancestro de los humanos modernos. Otros los consideran como una rama trunca del árbol humano; es decir, una raza de *H. sapiens* extinta.

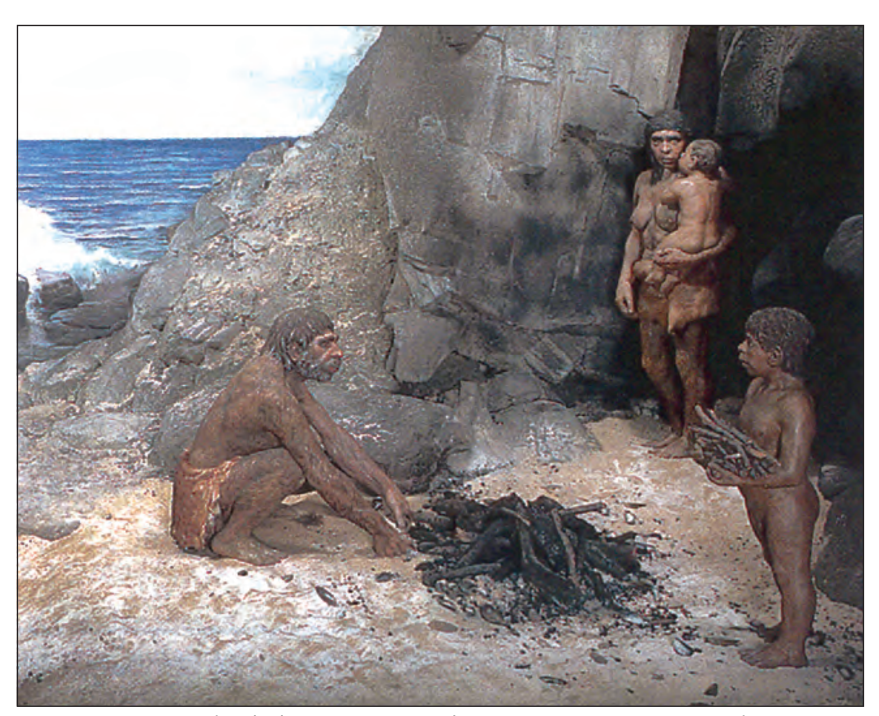


Figura 5.42 Neanderthales. Estos seres humanos primitivos eran de corta estura y complexión fuerte. Cazaban grandes animales y utilizaban el fuego.

Se han encontrado casi 100 esqueletos de Neanderthal localizados en Europa, Asia, Siberia y Africa del Norte. Los Neanderthales vivieron en la Tierra desde hace 250 mil años hasta su extinción, hace 35 mil años. Sus restos indican que eran de baja estatura, como de 1.5 m, muy fuertes y tenían el cere-

bro tan grande como el del humano moderno. Los cráneos fósiles indican que tenían áreas de habla en el cerebro, aunque la naturaleza de su lenguaje era hipotético. Se han reconstruido sus caras, las cuales presentan marcados bordes de las cejas, muy pobladas, boca grande y una barbilla pequeña. Los Neanderthales eran hábiles cazadores de mamuts, tenían armas y herramientas de piedra; utilizaban el fuego y hay evidencias de que enterraban a sus muertos. Se han encontrado esqueletos en posiciones cuidadosamente arregladas que sugieren sepulturas rituales. Con estas evidencias, los científicos creen que los Neanderthal probablemente eran religiosos y tenían una estructura social.

Cro-Magnon

El **Cro-Magnon** vivió en Europa hace cerca de 90 mil años. Los primeros restos de los Cro-Magnon se encontraron en 1868, en la gruta de Cro-Magnon en el sur de Francia, de ahí su nombre. Estos primeros restos fueron cinco esqueletos: el de un anciano, dos hombres adultos, una mujer y un niño. Los Cro-Magnon eran altos, musculosos, de facciones finas, idénticos al humano actual.Vivían en cuevas y eran grandes artistas, prueba de ello son las hermosas pinturas rupestres de animales y escenas de caza plasmadas en las paredes de las cuevas.

Los Cro-magnon coexistieron con los Neanderthales en Europa y en Medio Oriente durante quizá 50 mil años, hasta que el Neanderthal desapareció. Los científicos no saben qué fue de los Neanderthal, tal vez los Cro-Magnon eran mejores cazadores y llevaron a los Neanderthales a la extinción por competencia. Quizás la habilidad superior de lenguaje de los Cro-Magnon también les dio supremacía. Algunos científicos piensan que se dio el entrecruzamiento y se mezclaron los grupos. Evidencias recientes, sin embargo, no apoyan la teoría del entrecruzamiento. En la figura 5.44 se muestra un posible árbol evolutivo de los seres humanos.





Figura 5.43 Hombre de Cro-magnon pintando alrededor de su mano. A la derecha una pintura rupestre pintada por ellos.

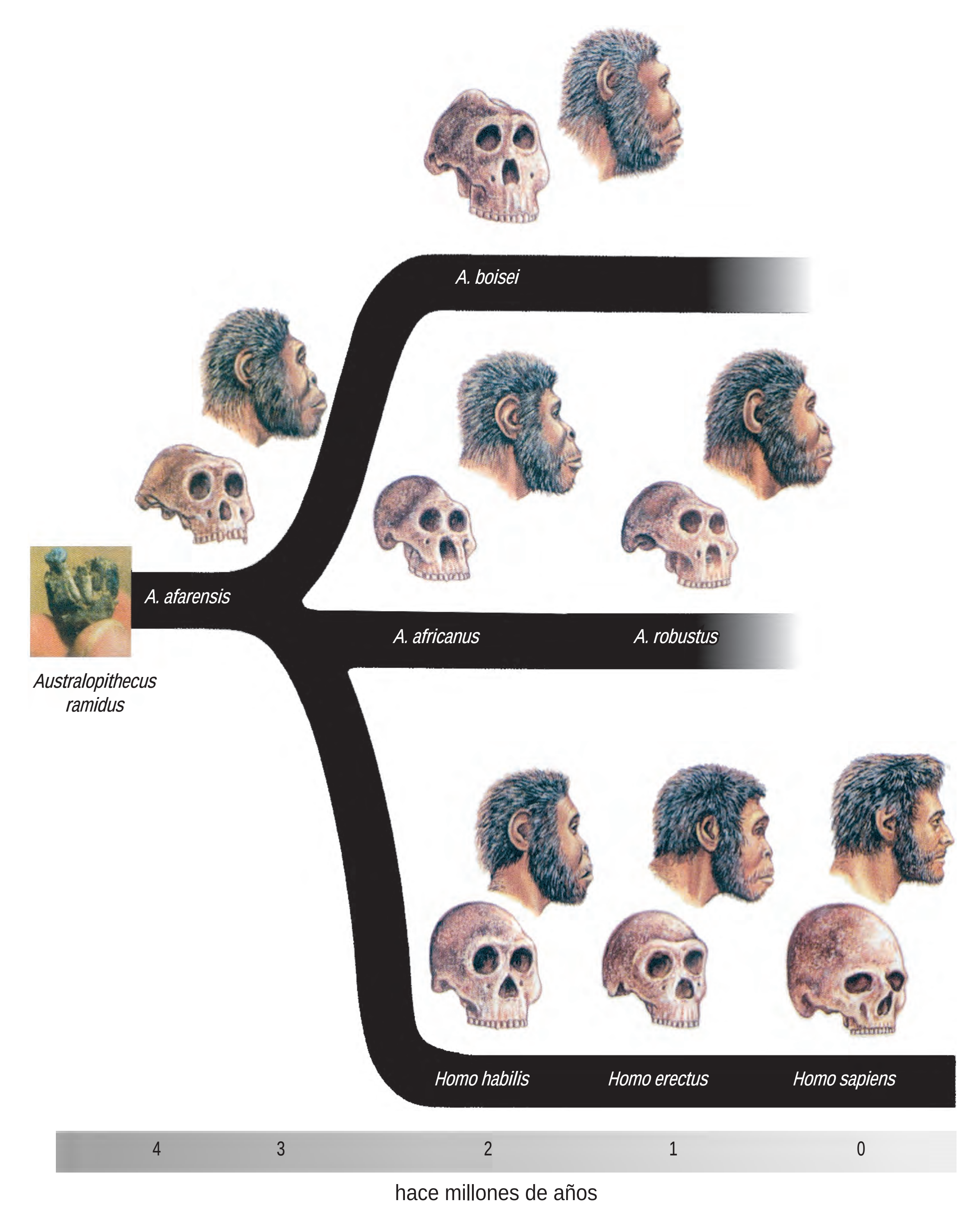


Figura 5.44 Posible árbol evolutivo de los seres humanos que muestra cráneos y reconstrucciones faciales de especímenes representativos.

Autoevaluación

Repaso de la unidad

Contesta las siguientes preguntas:

1. ¿Qué es la evolución?

____

____

____

____

2. ¿En que consistió el experimento de Pasteur mediante el cual se descarta definitivamente la hipótesis de la generación espontánea?

____

____

3. ¿Cuáles eran las condiciones probables de la Tierra primitiva?

____

____

4. ¿Qué evidencia proporcionó el experimento de Miller-Urey para apoyar la teoría de Oparin?

____

____

5. ¿En qué se basan los científicos para calcular que la vida se inició hace 3 mil 500 millones de años?

____

6. ¿Qué es un estromatolito?

____

7. ¿Qué tipo de información contiene una tabla del tiempo geológico?

____

____

8. ¿Qué revelan las pruebas fósiles sobre la evolución?

____

9. ¿Qué es un órgano vestigial? Da un ejemplo.

____

10. ¿En qué consiste el método del Carbono 14 utilizado para determinar la edad de los fósiles.

____

____

11. ¿Por qué los científicos rechazan la hipótesis de Lamarck sobre cómo ocurre la evolución?

____

12. ¿Cuáles son los puntos principales de la teoría de la evolución de Darwin?

____

____

____

13. ¿Cómo puede la selección natural provocar la evolución?

____

____

14. ¿Qué importancia tienen las mutaciones en el proceso evolutivo?

____

15. ¿Qué es la especiación?

____

16. ¿Cuáles son los fósiles de homínidos que pueden ser antepasados de los seres humanos actuales.

____

____

____

17. ¿A qué género y especie pertenece el humano actual?

____

18. ¿Por qué es incorrecto decir que el ser humano desciende del mono? ¿Cuál es la afirmación correcta?

____

____

Indica cual de las siguientes afirmaciones son verdaderas (v) o falsas (f).

19. Una especie es un grupo de organismos que pueden aparearse y producir descendencia saludable y fértil. ( )
20. La especiación usualmente inicia con el aislamiento de una parte de la población. ( )
21. El cerebro de *Homo erectus* fue mucho más grande que el de *Homo habilis.* ( )
22. El principio de la “herencia de las características adquiridas”, es la base de la hipótesis de Darwin. ( )
23. La lucha por la existencia es una competencia por los recursos disponibles como fuente de alimento y territorio propio. ( )
24. El principio del “uso y desuso” de las estructuras del cuerpo, fue enunciada por Lamarck. ( )
25. Todos los integrantes de una especie son idénticos entre sí. ( )
26. El nicho de una población es definida por su forma de vida y el uso del medio ambiente. ( )
27. Los pinzones y las tortugas gigantes de las Islas Galápagos estudiada por Darwin, son resultado de la radiación adaptativa. ( )
28. Los *Australopithecus* son los fósiles de los homínidos descubiertos más recientemente. ( )

En la siguiente sopa de letras, localiza la respuesta de lo que se te pide:

29. Tipo de evolución en la que las poblaciones aisladas evolucionan independientemente.
30. Las alas de los murciélagos, pájaros e insectos, se denominan estructuras:
31. Son los primates más primitivos.
32. Es la función que desempeña un organismo dentro de la comunidad,
33. Son los cambios que han ocurrido en una población mediante los cuales se han formado nuevas especies, a lo largo del tiempo.
34. Realizó un sencillo y bien diseñado experimento para poner a prueba la generación espontánea.
35. Para este investigador, la “selección natural” fue el mecanismo mediante el cual, se llevó a cabo la evolución.
36. Las muelas del juicio, la apéndice vermiforme y el cóccix, son ejemplo de estructuras:
37. Realizó un experimento que puso fin a la teoría de la generación espontánea.
38. Estableció que la población humana crece tan rápido que un día crecerá más que la cantidad de alimentos disponibles.

D	A	R	W	I	N	A	R	A	N	E	P
I	N	V	E	S	T	I	G	A	D	O	R
V	E	S	T	I	G	I	A	L	E	S	O
E	V	O	L	U	C	I	O	N	U	E	S
R	E	D	I	N	F	R	A	E	S	P	I
G	U	S	T	A	V	O	L	I	N	A	M
E	U	F	A	M	A	L	T	H	U	S	I
N	I	C	H	O	L	E	G	A	R	T	O
T	E	N	A	C	I	D	A	D	G	E	S
E	N	C	O	N	T	R	E	M	O	U	V
V	E	L	C	O	M	P	U	T	A	R	E
S	A	N	A	L	O	G	A	S	A	L	I

Aplicación de conceptos

39. Explica el mecanismo de la elongación evolutiva del cuello de la jirafa, de acuerdo con Lamarck y con Darwin.

____

____

40. Usa tus conocimientos de genética para explicar por qué las características adquiridas no son pasadas a la progenie.

____

41. Si visitaras una isla donde se encuentran varios tipos de plantas que están relacionadas y que son diferentes a las encontradas en tierra firme, ¿cómo explicarías esta observación a alguien que no esté familiarizado con las teorías de la evolución?

____

____

42. Explica el uso de la radiactividad para conocer la edad de las rocas.

____

____

Elabora un mapa conceptual sobre las diversas pruebas de la evolución.





Guía didáctica

Actividades de laboratorio

La didáctica en la actividad experimental de biología

La biología, como la ciencia del estudio de la vida, es un cuerpo de conocimientos adquiridos a través de la observación y de la experimentación. Esta ciencia se ha desarrollado a una velocidad muy rápida de tal manera que el conocimiento que se alcanza en el medio escolar acerca de los seres vivos, se ha estado quedando rezagado. Por este motivo, se hace necesario recurrir a la didáctica como una base teórica para facilitar la labor del maestro.

La didáctica de la biología generaliza y sistematiza las experiencias del trabajo escolar. Este ordenamiento significa una guía segura y concreta en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la biología, además de contribuir al dominio de las técnicas de enseñanza.

En el ambiente escolar y en la asignatura de biología, tenemos una tarea que es decisiva y que consiste en "Familiarizar a los alumnos con los hechos, métodos y pensamientos biológicos a fin de capacitarlos y motivarlos para observar los fenómenos naturales".

Para poder adquirir los conocimientos biológicos se tienen que desarrollar ciertas aptitudes y habilidades. Es fundamental desarrollar la capacidad de observación, de análisis y de experimentación. Es imprescindible descubrir o redescubrir de un modo creativo, independiente y reflexivo las particularidades cualitativas y cuantitativas de los hechos y procesos biológicos. Es necesario buscar las causas para responder a las interrogantes que le plantea la naturaleza, para establecer las relaciones entre los organismos y sus manifestaciones. La gran diversidad de las formas vivientes y de sus condiciones de vida nos ofrece muchas oportunidades para ejercitar el pensamiento causal.

La observación, la investigación, el análisis y el experimento están íntimamente relacionados en la enseñanza de la biología. Mediante la observación y el experimento fijamos nuestra atención en algún cambio que se está produciendo; observar significa contemplar un proceso y reconocer modificaciones. Es uno de los fundamentos de la enseñanza de la biología, para ello primero se considera el aspecto general del objeto, después se señalan sus características más importantes, y, por último, se hace la síntesis en un nivel de mayor complejidad, el cual permite comprender la interacción de las partes con el todo.

El experimento

Durante la observación, no es fácil comprender plenamente las manifestaciones de los hechos biológicos, además de las fuerzas que actúan sobre ellas y cómo se relacionan entre sí. En tales casos, es necesario experimentar, o sea, separar cuidadosamente a los factores individuales que interactúan en cualquier proceso biológico. Así, por ejemplo, los procesos metabólicos que ocurren en la gran diversidad de formas vivientes y muchos fenómenos evolutivos se aclaran únicamente con el experimento. Pero es muy claro que para desarrollar esta actividad experimental debe haberse dado primero por una cuidadosa observación e investigación, para que, de esta manera, se disponga de hechos que despierten el interés por la propia experimentación. En la escuela es muy probable que no vayamos a descubrir algo nuevo, pero como resultado de la investigación experimental, se establecerán verdaderos redescubrimientos.

El método de las ciencias

¿Cuáles son los métodos usados por los científicos? Por lo general, la investigación científica se lleva a cabo de acuerdo con ciertos pasos ordenados que producen resultados precisos y confiables. Estos pasos conforman lo que es el **método científico** y significan el modo lógico y ordenado de resolver un problema o dar respuesta a una pregunta. No hay un solo método científico pues se han planteado muchas propuestas para realizar actividades de investigación experimental. Aun así, aquí se enlistan los pasos o fases más comunes, las cuales sirven de modelo experimental en las prácticas de laboratorio de biología en el bachillerato, éstas son:

- *Planteamiento del problema.* No se puede resolver un problema si primero no es delimitado, es decir, formular con claridad el problema a investigar o a qué pregunta se quiere responder.
- *Búsqueda de información acerca del problema.* Debemos obtener información que tenga relación con nuestro problema y, además, estudiarla para saber si ya hay respuestas a ese problema planteado. Los libros de la biblioteca, las revistas de divulgación científica, los libros de texto y la guía para el laboratorio, junto con los resúmenes de clases, servirán en esta parte de la investigación.
- *Construcción de una hipótesis.* Después de recolectar la información y hacer observaciones, se procede a construir una explicación o una respuesta probable al problema. Esta explicación se llama **hipótesis**. Para que una hipótesis sea válida, debe ser demostrable por medio de la experimentación. A veces hay que cambiar la hipótesis si con los resultados de los experimentos no se ve apoyada.

La hipótesis guía la observación y experimentación porque sugiere qué es lo que debe ser observado.

- *Procedimiento***.** Este paso consiste en experimentar para probar la hipótesis. Se principia con el diseño del experimento a partir de un bosquejo de la disposición experimental sencilla, en el cual se incluye la selección del equipo de laboratorio tales como el microscopio, material de vidrio y el material biológico, además de los instrumentos de medición para **control de variables** del fenómeno o problema a investigar, instalar todo el dispositivo de ensayo y comprobación de las condiciones experimentales. Lógicamente se incluye la ejecución del experimento.
- *Observación y registro de datos del experimento.* Es preciso un control del desarrollo experimental. Todo lo que tiene que ver con el experimento debe ser anotado fielmente ¿Qué pasó durante el experimento? ¿Cuáles fueron los cambios cuantitativos y cualitativos? ¿Cuáles fueron los resultados? El registro puede incluir notas, dibujos, tablas y gráficas.
- *Análisis y conclusiones***.** El análisis o interpretación de los resultados obtenidos nos llevará a dar respuesta al problema o pregunta inicialmente planteada.

Con los resultados del experimento, se sacan conclusiones válidas de ellos. Tales conclusiones deben estar basadas en los hechos del experimento para poder aceptar o rechazar la hipótesis propuesta.

Se acepta como cierta una hipótesis cuando la predicción es confirmada por los resultados del experimento. Basta que exista un solo dato que no concuerde con la explicación para desecharla.

Habilidades

Además de las fases vistas anteriormente, este modelo se inicia con un apartado intitulado **Habilidades**, en el cual se mencionan tanto las **habilidades intelectuales** como las **manuales o psicomotoras** (destrezas) que el alumno va a desarrollar durante la realización del programa de prácticas experimentales a nivel escolar. No es un objetivo nuestro presentar una lista exhaustiva de habilidades y destrezas, sin embargo mencionaremos algunas que tienen que ver con el trabajo en los laboratorios.

Observar e inferir

La **observación** es la base de todas las investigaciones científicas. Las observaciones se realizan por medio de los sentidos. Por ejemplo, en un ave podemos observar mediante los sentidos de la vista, tacto y oído, el colorido y textura de su plumaje y el sonido que emite, respectivamente. La observación da información sobre las cosas o eventos que suceden. Los científicos intentan ser precisos y cuidadosos en sus investigaciones, para ello utilizan instrumentos como el microscopio, a fin de ayudar a ampliar lo que solamente se perciben por medio de los sentidos. Entre otros instrumentos que se utilizan, tales como el termómetro o la balanza de platillos, miden las observaciones. Las medidas proporcionan datos numéricos que significan un medio concreto de comparar datos que pueden ser repetidos.

Algunas observaciones describen algo usando solamente las palabras. Estas observaciones son llamadas cualitativas. Otras observaciones, las cuantitativas, describen cuánto hay de algo. Las observaciones cuantitativas usan números tanto como palabras en la descripción. Para realizarlas se utilizan herramientas o equipo para medir ciertas características. Por ejemplo, las observaciones cualitativas sobre un perro serán que es algo, chaparro, de pelo corto, orejas largas, etcétera, y las observaciones cuantitativas serán, por ejemplo, que tiene un peso de 45 kilogramos, una altura de 50 centímetros y una edad de 10 meses.

Los científicos frecuentemente usan sus observaciones para hacer inferencias. Una **inferencia** es una explicación tentativa o interpretación de observaciones para determinar qué es lo que causa lo observado. Por ejemplo, si alrededor del mediodía tú observas el letrero de CERRADO en la puerta de una tienda, mediante el razonamiento tú puedes inferir que el dependiente salió a comer. La única forma de estar seguro si tu inferencia es correcta es investigándolo.

Cuando se hace una inferencia, debemos hacer observaciones precisas, registrarlas cuidadosamente y recolectar toda la información posible. Entonces, basado en todo lo que sabes, trata de explicar o interpretar qué es lo que has observado. Si es posible, investiga posteriormente para ver si tu inferencia es correcta.

Comparar y contrastar

Las observaciones pueden ser analizadas y, entonces, organizadas anotando las similitudes y diferencias entre dos o más objetos o situaciones. Cuando se examinan los objetos para determinar

similitudes, se está **comparando**. **Contrastar** es buscar en objetos y situaciones similares las diferencias existentes entre ellos.

Vamos utilizando el siguiente ejemplo: suponiendo que tú quieres comparar y contrastar un chapulín de un cigarrón, empezarás por hacer tus observaciones. En este momento es útil que tomes una hoja de papel y la dividas en dos columnas. Enlista todo aquello que es similar a los dos insectos en una columna y en las otras, todas aquellas características que los hacen diferentes. Después de completar tu lista, reporta tus hallazgos en una tabla o en una gráfica.

Las similitudes que se encuentran son: el cuerpo tiene tres partes, dos pares de alas y un órgano bucal masticador. Las diferencias pueden incluir: grandes patas traseras en el chapulín, pequeñas piernas en el cigarrón. Las alas están muy pegadas al cuerpo, en el chapulín, y extendidas en el cigarrón.

Algunas **habilidades manuales** o **destrezas** son la manipulación o manejo de instrumentos como el microscopio o el manejo de material de cristalería como los portaobjetos y cubreobjetos que se utilizan al realizar una preparación húmeda. Otra destreza es dibujar, o sea, representar figuras en una superficie, lo cual permite que el alumno reafirme su conocimiento sobre las características morfológicas del organismo que se está estudiando.

La seguridad en el laboratorio

El laboratorio de biología es un lugar donde muchas cosas interesantes pueden pasar. Es también un lugar donde existen riesgos y materiales peligrosos. Para garantizar que el trabajo en el laboratorio sea seguro y positivo, debemos seguir ciertas precauciones. Lee las siguientes indicaciones antes de iniciar cualquier trabajo en el laboratorio, y revísalas de vez en cuando durante el transcurso de las actividades.

Reglas de seguridad

1. Lee todos los procedimientos de cada actividad de laboratorio antes de empezar a trabajar, de tal manera que estés completamente familiarizado con lo que se tiene que hacer.
2. El laboratorio no es un lugar para correr, empujar y bromear. Esta conducta tan poco apropiada puede causar accidentes. Toma en serio el laboratorio.
3. Indaga dónde se localiza el extinguidor, la regadera, el botiquín y la alarma de fuego.
4. Usa una bata para proteger tu ropa; si las mangas son largas, súbelas enrollándolas.
5. Recógete el pelo largo.
6. No comas ni bebas en el laboratorio.
7. Nunca inhales sustancias ni pruebes ni lleves ninguna sustancia o material a la boca.
8. Lávate las manos antes y después de cualquier actividad.
9. Mantén limpia el área de trabajo en el laboratorio; sin libros ni papales ni equipo alguno innecesario.
10. Lava cuidadosamente todos los utensilios antes y después de usarse.
11. No experimentes ni mezcles sustancias por tu cuenta. Recuerda que algunas mezclas son tóxicas o explosivas.
12. Cuando uses tijeras, navaja o bisturí, corta lo más alejado de los demás y de tu propio cuerpo. Nunca cortes un espécimen mientras lo tienes en tu mano.

13. Usa lentes de protección cuando se vayan a utilizar sustancias químicas peligrosas que puedan salpicarte y dañar tus ojos.
14. Cuando calientes alguna sustancia en un tubo de ensayo, siempre inclínalo de forma que la boca no se dirija a ti o a tus compañeros.
15. Etiqueta todos los frascos con los nombres de los materiales que se usen en la práctica.
16. Inmediatamente, reporta cualquier accidente a tu maestro, incluyendo el quebrar el material de vidrio, derrame de sustancia o lesiones físicas.
17. No recojas con las manos material de vidrio que se haya quebrado, hay que hacerlo con cepillo y recogedor y depositarlo en el recipiente destinado para desecho de vidrio.
18. Las sustancias químicas que no hayan sido usadas, no se devuelven al frasco original para evitar que haya contaminación. Se dispondrá de las sustancias químicas según lo indique el profesor del laboratorio.
19. Asegúrate de que todo el material utilizado quede bien limpio y guardado en el lugar correcto, y que el área de trabajo esté limpia, antes de salir del laboratorio.
20. Asegúrate que todos los mecheros de Bunsen, salidas de gas y llaves de agua estén cerradas antes de salir del laboratorio.

Orientaciones para el laboratorista sobre las actividades

Al inicio de la actividad, el laboratorista deberá cuestionar a los alumnos sobre el contenido de ésta, con el fin de saber qué tanto saben o conocen sobre el tema biológico que se está tratando. Esto es con la finalidad de que los conceptos básicos que se requieren para un desarrollo óptimo de la práctica surjan de los alumnos. Si el nivel de conocimientos que se presentan los alumnos es bajo, el laboratorista deberá explicar de una manera clara y sencilla los principales conceptos del tema tratado en la práctica. Esta explicación deberá apoyarse en material didáctico como modelos tridimensionales, láminas y especímenes vivos o conservados.

Algunas diapositivas que se requieren mínimamente en este primer semestre son:

- Microscopio compuesto
- Elaboración de una preparación húmeda
- Organismos representantes de los 6 reinos
- Proceso de ósmosis
- Célula vegetal
- Célula animal
- Ciclo celular
- Fases de la mitosis
- Árbol genealógico
- Cariotipo humano
- Código genético

Antes de finalizar la actividad, el laboratorista deberá preguntar a los alumnos sobre la conclusión a la que llegaron para constatar si la hipótesis planteada al inicio es verificada de acuerdo con los resultados.

ACTIVIDAD 1

Conocimiento del microscopio óptico compuesto

El microscopio es una de las más importantes herramientas de estudio en Biología. El microscopio es un aparato óptico, cuyo objetivo es aumentar considerablemente el tamaño de los objetos de observación; por tal motivo y por ser un aparato de constante uso en las prácticas de laboratorio, es necesario conocer sus partes y manejarlo perfectamente. El tipo de microscopio usado en la mayoría de los laboratorios escolares es el microscopio compuesto, el cual usa dos lentes para ampliar la imagen: el ocular y el objetivo.

Descripción del microscopio

Escucha con atención la descripción que hará del microscopio tu profesor de laboratorio. Al mismo tiempo, localiza cada parte descrita en el microscopio de tu mesa de trabajo.

El microscopio se divide en tres sistemas:

- Mecánico, óptico y de iluminación.

El sistema mecánico está integrado por:

- Tubo: Proporciona sostén a los objetivos y a los oculares manteniéndolos separados a la distancia de trabajo correcta.
- Revólver: En él se localizan los objetivos, los cuales, mediante un movimiento de rotación, se ubican en posición de trabajo.
- Brazo: Pieza de forma curva por donde se toma al microscopio.
- Platina: Pieza donde se colocan las preparaciones para su observación; presenta un orificio central por el que penetra la luz y sobre el cual se coloca la preparación.
- Pinzas: Se localizan en la platina y sujetan la preparación.
- Columna: Se encuentra entre el brazo y la base; en ella se localizan los tornillos macrométrico y micrométrico.
- Tornillo macrómétrico o de avance rápido: Mueve la platina hacia arriba o hacia abajo acercando el objetivo a la distancia de trabajo.
- Tornillo micrométrico o de avance lento: Permite enfocar con precisión (logrando la mayor claridad) subiendo y bajando lentamente a la platina.
- Base: Soporte firme para el resto del microscopio. Palanca del condensador: Cierra y abre el diafragma. Botón regulador de la lámpara: Proporciona la cantidad de luz necesaria para cada enfoque.
- Palanca del condensador: cierra y abre el diafragma.
- Botón regulador de la lámpara: proporciona la cantidad de luz necesaria para cada enfoque.

El sistema óptico está integrado por:

- Ocular: Está compuesto por lentes que aumentan las imágenes producidas por el objetivo. Puede ser reemplazado por otro ocular de menor o mayor aumento. El ocular es nombrado así por estar cerca del ojo del observador. Por lo general posee 10 aumentos (10X). Se les llama oculares por encontrarse cerca de los ojos.
- Objetivos:Constituidos por lentes de diferentes aumentos (magnificaciones), éstos pueden ser:

Objetivo de enfoque (lupa)... 4X a 6X	Con él localizamos la imagen.
Objetivo seco débil... 10X a 20X	Se emplean sin que haya necesidad de agregar una sustancia entre la preparación y el objetivo.
Objetivo seco fuerte...40X a 45X	
Objetivo de inmersión 100X	Requiere el uso de aceite de cedro (de inmersión) entre la preparación y el objetivo.

Se les llama objetivos por encontrarse cerca del objeto que se va a examinar.

La amplificación del objeto se logra con los aumentos del ocular y los objetivos. Para calcular el aumento total (número de veces que se amplifica un objeto), se multiplica el aumento del objetivo por el del ocular.

Ejemplo: Ocular: 10X Objetivo: 4X
Número total de aumentos:
10 x 4 = 40 diámetros ó 40 veces

El sistema de iluminación está integrado por:

- Lámpara: Proporciona la luz que se requiere para poder realizar la observación.
- Diafragma: Regula la cantidad de luz que va a pasar a través de la preparación.
- Condensador: Concentra el haz de luz en la preparación.

Análisis

1. En la figura 1.1 señala y nombra cada una de las piezas del microscopio y anota si corresponde al sistema mecánico (M), óptico (O) o de iluminación(I).



Figura 1.1 Microscopio óptico compuesto.

2. Completa lo que se pide sobre las siguientes observaciones.

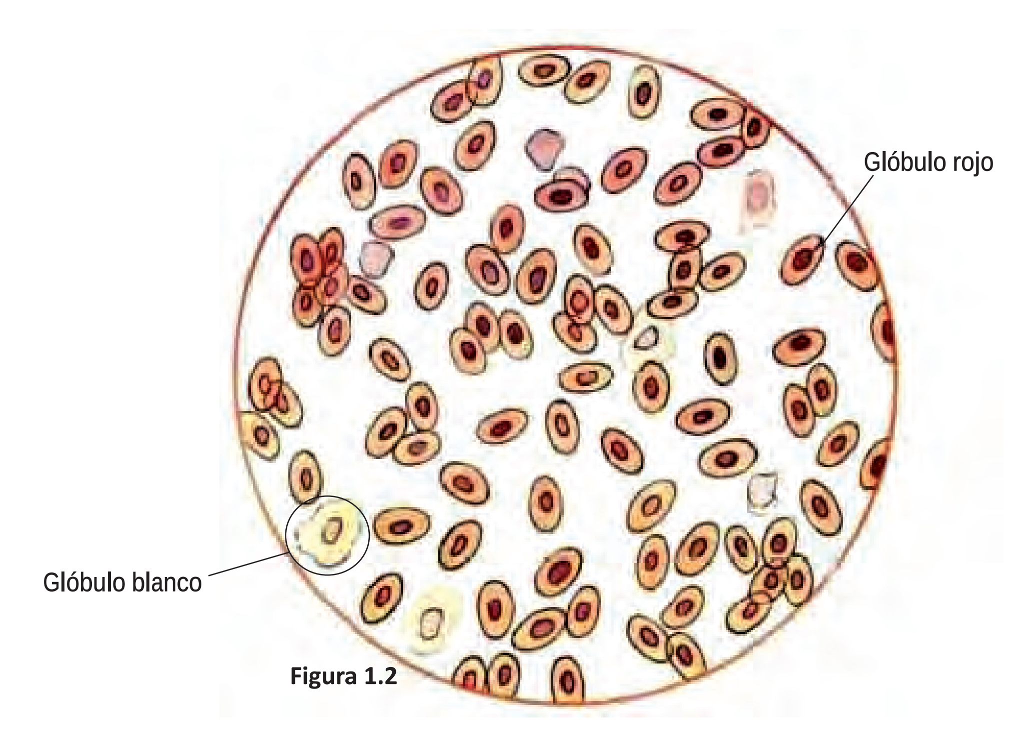


Figura 1.2

Si el ocular con el que se observó esta sangre de rana es de 10X y el objetivo es de 40X, está aumentada _________ veces.

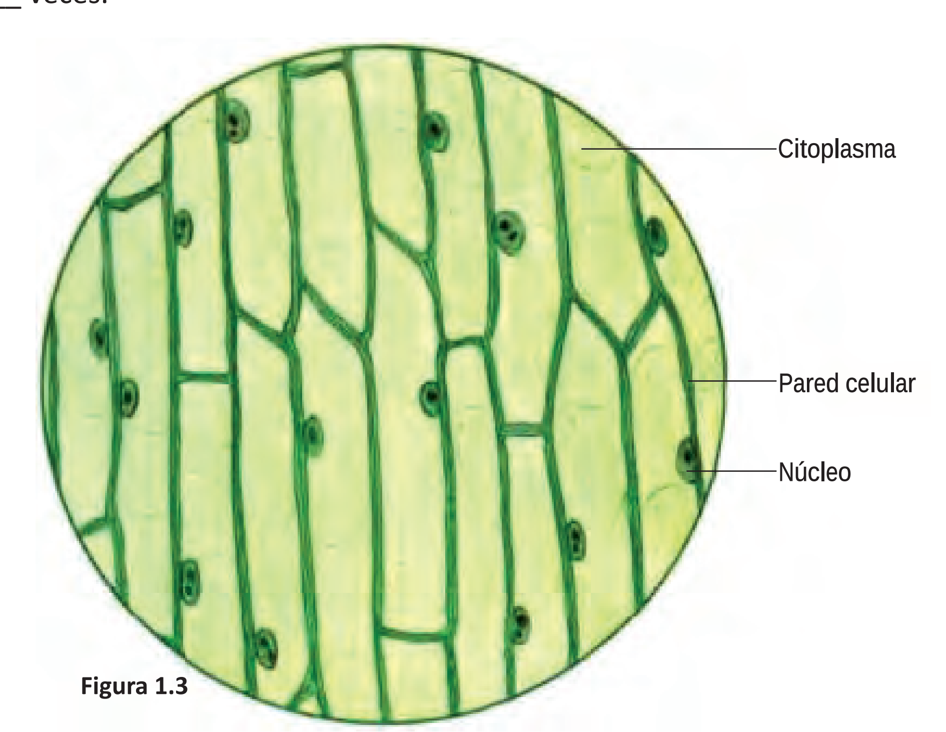


Figura 1.3

Esta epidermis de cebolla, está aumentada 100 veces, por lo tanto el ocular es de: ________ y el objetivo es de: ________

ACTIVIDAD 2

Cuidado y uso del microscopio

Cuidado del microscopio

Al hacer uso del microscopio, debes tener muy presente que estás usando un aparato de precisión mecánica y óptica, así que debes tratarlo con cuidado y sólo para los fines que está construido; por lo tanto, al utilizarlo toma en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Para trasladarlo de un sitio a otro, debes utilizar ambas manos, coloca una mano bajo la base y con la otra sujétalo del brazo (figura 2.1) No lo intentes de otra manera ya que podrías dañarlo.
2. No coloques el microscopio en el borde de la mesa, ya que cualquier movimiento involuntario puede tirarlo al suelo. Asegúrate de que se encuentre a unos 20 cm de los bordes de la mesa.
3. Las lentes del ocular y objetivos deben estar siempre limpios; para ello, primero se quita el polvo con un pincel de pelo fino y después se limpian con un lienzo suave humedecido con un poco de éter o alcohol. Así se evita que al frotar el polvo con el lienzo, las superficies de los lentes que están finamente pulidas se dañen.
4. Cuando utilices aceite de inmersión, deberás limpiar inmediatamente la lente del objetivo 100X con un lienzo suave empapado con la siguiente solución: 30% de acetona, 30% de éter etílico y 30% de alcohol.
5. No debe forzarse ningún mecanismo.
6. Cuando termines de hacer tus observaciones, deberás colocar el microscopio en posición de descanso (bajar la platina hasta el tope y colocar en posición óptica el objetivo de enfoque).
7. Por último, deberás limpiarlo y guardarlo en su caja o funda de plástico para protegerlo del polvo.

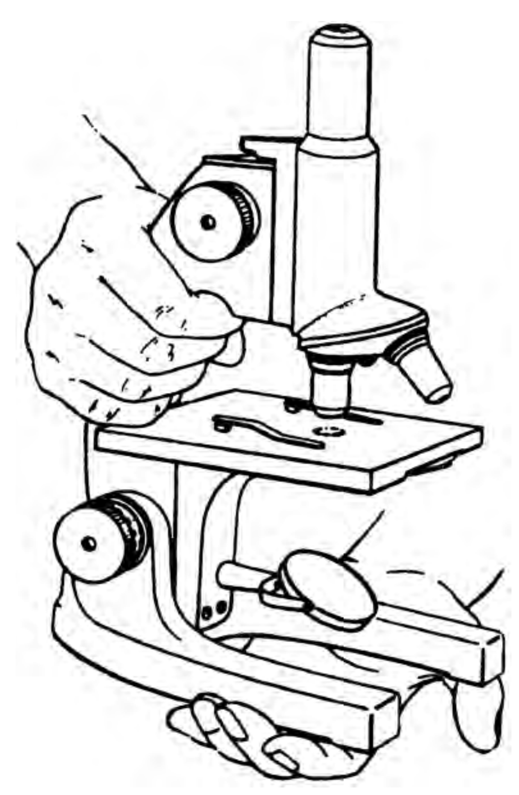


Figura 2.1 Manera de transportar el microscopio.

Uso del microscopio

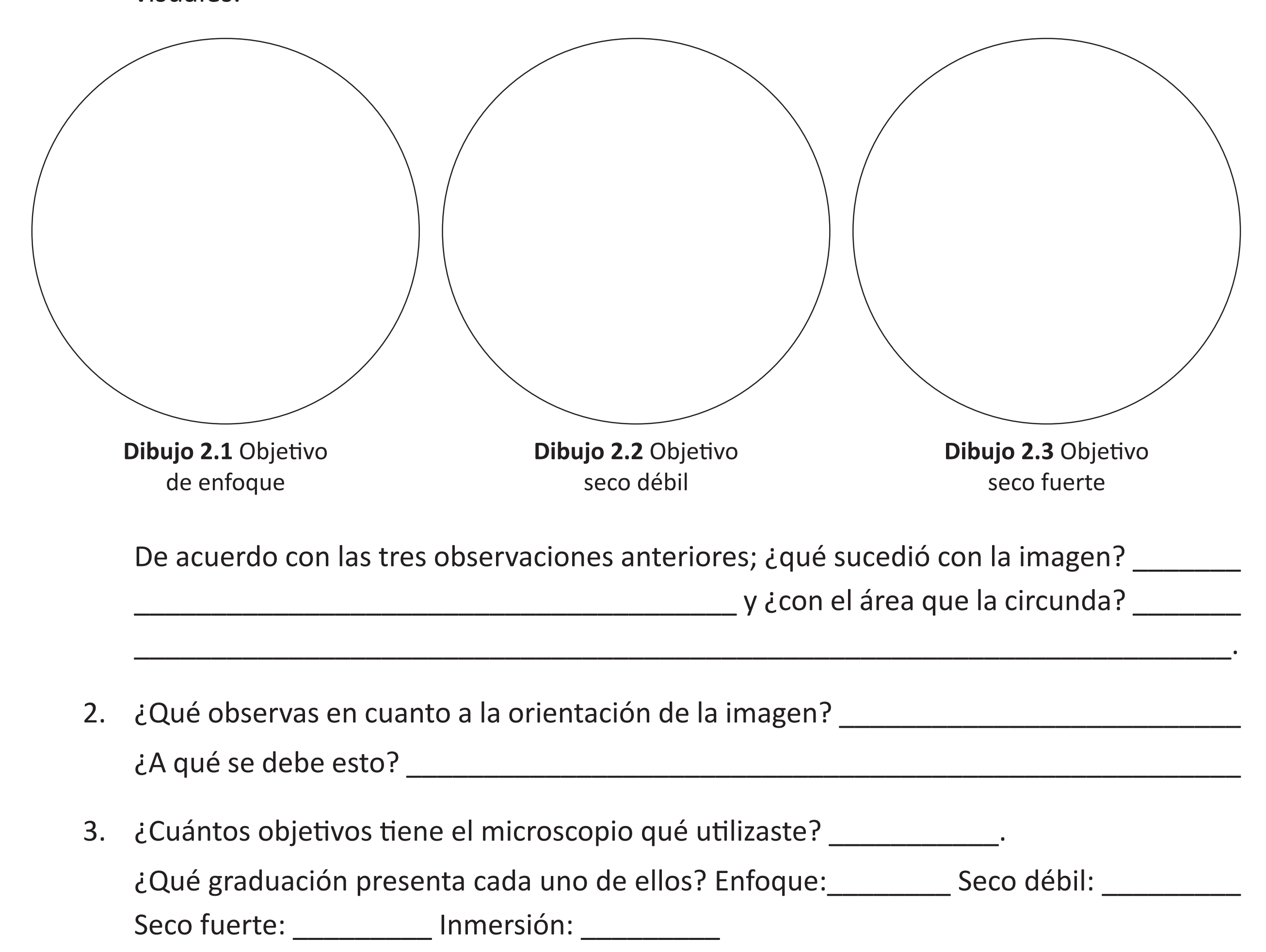
Elabora la preparación, recortando un pedazo pequeño de periódico que contenga una letra “a” minúscula de aproximadamente 4 mm.

1. Conecta el microscopio a la corriente eléctrica y acciona el control de encendido.

2. Girando el revólver, coloca el objetivo de enfoque en posición óptica.
3. Coloca la preparación sobre la platina, procurando que el objeto que vas a observar coincida con el orificio de la platina.
4. Sube la platina hasta el tope (girando el tornillo macrométrico).
5. Ahora, observa a través del ocular y baja la platina con el tornilo macrométrico hasta que la imagen aparezca.
6. Afina la imagen subiendo o bajando la platina lentamente con el tornillo micrométrico.
7. Regula la cantidad de luz abriendo y cerrando el diafragma o girando el botón regulador de la lámpara.
8. Antes de que observes con un mayor aumento (objetivo 10X), centra perfectamente la imagen.
9. Siempre que cambies de objetivo, afina la imagen empleando el tornillo micrométrico.

Análisis

1. De acuerdo con el objetivo utilizado, dibuja lo que observaste en los siguientes campos visuales.



Dibujo 2.1 Objetivo de enfoque

Dibujo 2.2 Objetivo seco débil

Dibujo 2.3 Objetivo seco fuerte

De acuerdo con las tres observaciones anteriores; ¿qué sucedió con la imagen? _______ _______________________________________ y ¿con el área que la circunda? _______ ____.

2. ¿Qué observas en cuanto a la orientación de la imagen? __________________________

   ¿A qué se debe esto? ____

3. ¿Cuántos objetivos tiene el microscopio qué utilizaste? ___________.

   ¿Qué graduación presenta cada uno de ellos? Enfoque:________ Seco débil: _________ Seco fuerte: _________ Inmersión: _________

4. ¿Cuál es la graduación del ocular? ________________.

ACTIVIDAD 3

Los seis reinos

Habilidades

Observar, comparar y determinar.

Problema

¿Cuáles son las principales características de cada uno de los seis reinos?

Estrategia

Durante esta investigación, observarás organismos y determinarás a que reino pertenecen.

Hipótesis

Los integrantes de los reinos arqueobacterias y eubacterias son procariotas, mientras que los reinos protista, fungi, plantae y animalia son eucariotas.

Materiales

Equipo: Microscopio, portaobjetos, cubreobjetos, goteros.

Material biológico:

Agua estancada (charco, florero, etc.), levadura del pan (dos pastillas de levadura disuelta en 20 ml de agua), pan con hongos, champiñones, diversos representantes de la mayoría de las divisiones y phyla de plantas y animales respectivamente. Estos especímenes pueden estar vivos, disecados o conservados en formol.

Procedimiento

1. Elabora una preparación microscópica con:
   a) Una gota de agua estancada.
   b) Una gota de suspensión de levadura.
2. Observa cada una de ellas al microscopio.
3. Observa los organismos macroscópicos.
4. Determina a que clase, phylum (división) y reino pertenecen. Escribe su nombre donde corresponda.

Reino Arqueobacteria____

____

Reino Eubacteria____

____

____

Reino Protista

*Protistas tipo animal (protozoarios)*____

____

*Protistas tipo vegetal (algas)*____

____

*Protistas tipo hongo*____

____

Reino Hongos

*Phylum quitridiomicetos*____

*Phylum cigomicetos*____

Phylum ascomicetos ____

*Phylum basidiomicetos*____

*Phylum deuteromicetos*____

Reino Plantas

*Clase filicinae*____

*Clase gimnospermae*____

*Clase angiospermae*____

Reino Animal

Invertebrados inferiores

*Phylum porífera*____

*Phylum cnidaria (celenterados)*____

____

Phylum platelmintos ____

Phylum nematodos ____

Invertebrados superiores

Phylum anélidos ____

Phylum moluscos ____

____

*Phylum artrópodos*____

____

____

*Phylum equinodermos*____

Cordados

Subphylum vertebrados

Clase peces____

Clase anfibios____

Clase reptiles____

Clase aves____

Clase mamíferos____

Análisis

De acuerdo a las características de cada reino. Llena con una **(x)** la siguiente tabla de clasificación.

	Arqueobacteria	Eubacteria	Protista	Fungi	Plantae	Animalia
Eucariotas						
Procariotas						
Autótrofos						
Heterótrofos						
Unicelulares						
Pluricelulares						

Conclusión

Basándote en tus observaciones, redacta un párrafo donde expreses tu conclusión.

____
____
____
____
____
____
____
____
____
____
____
____
____

ACTIVIDAD 4



Carbohidratos, lípidos y proteínas

Habilidades

Observar, manipular, deducir.

Problema

¿Qué moléculas orgánicas consumo diariamente?

Estrategia

Durante esta investigación, analizarás diversos alimentos para saber que moléculas orgánicas (carbohidratos, lípidos o proteínas) contienen.

Hipótesis

Los carbohidratos tienen diferente estructura a la de las proteínas y a la de los lípidos, es decir, cada molécula orgánica tiene una estructura propia, por lo tanto, al agregarles ciertos reactivos, presentan reacciones características que se emplean para identificarlas.

Materiales

Equipo: Goteros, cuchillo, vidrios de reloj, agitador de vidrio.
Reactivos: lugol, Fehling A y Fehling B, sudán III, NaOH (hidróxido de sodio) y Cu SO_4 (sulfato de cobre).
Material biológico: Jugo de naranja, salchicha finamente picada, carne de pollo finamente picada y clara de huevo.

Procedimiento

1. Coloca en 4 tubos de ensayo aproximadamente 3 ml de jugo de naranja. Haz lo mismo con los otros alimentos.
2. Para investigar si un alimento contiene almidón, agrega unas 3 gotas de lugol, mézclalo y si adquiere una coloración *azul hasta negro*, indica que si contiene.
3. Para saber si un alimento contiene lípidos, agrega 5 gotas de sudán III, mézclalo, déjalo reposar aproximadamente 5 minutos. Observa si aparece una coloración *anaranjada-rojiza* que indica la presencia de lípidos.
4. Para investigar azúcares, agrega al alimento 1 ml del reactivo Fehling A y 1 ml de Fehling B, mézclalos. Colócalo a la flama del mechero o en baño María y si observas una coloración *amarilla* indica que el alimento contiene poco azúcar. Si aparece un *rojo ladrillo* indica que contiene mayor concentración de azúcar.
5. Para investigar proteínas, agrega al alimento 2 ml de NaOH (hidróxido de sodio), mezcla, agrega $CuSO_4$ (sulfato de cobre) gota a gota, si observas una coloración *azul intenso* indica poca concentración de proteínas. En cambio, si la coloración es *violeta* contiene una alta concentración de proteínas.

Análisis

Llena la siguiente tabla de comparación con una (√) de acuerdo a tus observaciones:

	Almidón	Lípidos	Azúcares	Proteínas
Jugo de naranja				
Salchicha				
Carne de pollo				
Clara de huevo				

Conclusión

En base a la hipótesis planteada, escribe un párrafo manifestando tus conclusiones, apóyate en tus observaciones.

____
____
____
____
____
____
____
____
____
____
____
____
____

ACTIVIDAD 5

Ósmosis en papas

Habilidades

Observar, manipular y experimentar.

Problema

¿Qué es la ósmosis? ¿Cómo se afecta la papa al ser expuesta a diferentes soluciones?

Estrategia

Durante esta investigación, observarás el proceso de ósmosis en la papa y el efecto de dos soluciones en la estructura de una rebanada de papa.

Hipótesis

Las sustancias que se incorporan o abandonan las células por ósmosis, causan cambios en la estructura natural de la papa.

Materiales

Equipo: un cuchillo, pelapapas, dos vasos de precipitado de 250 ml, un plato hondo desechable.

Material biológico: una papa grande, solución de sal, agua, una cucharada de azúcar.

Procedimiento

1. Quitale la cáscara a la papa y córtala por la mitad.
2. A una de las mitades, fórmale un hueco con la ayuda del pelapapas.
3. En el plato hondo, coloca la cantidad suficiente de agua para que cubra la papa, pero cuidando que no la rebase.
4. Deposita una cucharada de azúcar en el hueco de la papa.

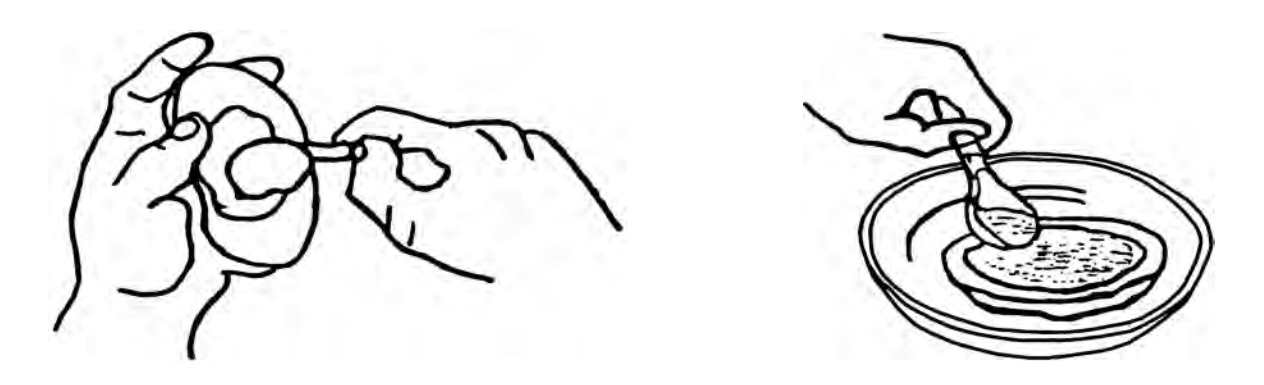


Figura 5.1 A la izquierda se muestra el paso 2 y a la derecha se muestra el paso 4.

5. Después de 20 minutos, observa lo que sucede.
6. De la otra mitad de papa, corta dos rebanadas aproximadamente del mismo tamaño y coloca cada una de ellas en un vaso de precipitado.
7. Agrega a uno de los vasos 200 ml de agua y al otro, 200 ml de solución salina.
8. Después de 20 minutos, coloca cada rebanada de papa entre tu dedo pulgar e índice y trata de doblarlas.

Análisis

1. ¿Qué sucedió con el azúcar que colocaste en el hueco de unas de las mitades de la papa?

____

2. Científicamente, ¿cómo explicas el proceso anterior?

____

3. ¿Qué cambios tuvo la flexibilidad de la rebanada de papa en el agua?

____

4. ¿Cómo explicas científicamente lo que le sucedió a la rebanada de papa anterior?

____

5. ¿Qué cambios tuvo la flexibilidad de la rebanada de papa en la solución salina?

____

6. ¿Cómo explicas científicamente lo que le sucedió a la rebanada de papa en solución salina?

____

Conclusión

Utilizando el concepto de ósmosis, escribe tu conclusión. Apóyate en tus observaciones.

____

____

____

____

____

____

____

____

____

____

____

ACTIVIDAD 6

Célula vegetal y célula animal

Habilidades

Observar, manipular, identificar, dibujar, comparar, contrastar y reflexionar.

Problema

¿Cuáles son las diferencias estructurales entre una célula vegetal y una célula animal?

Estrategia

Durante esta investigación, observarás células vegetales y células animales e identificarás las similitudes y diferencias entre ellas.

Hipótesis

Las diferencias entre células vegetales y animales residen en la presencia o ausencia de estructuras tales como los cloroplastos y la pared celular.

Materiales

Equipo: microscopio, portaobjetos, cubreobjetos, palillos de dientes
Reactivos: colorantes de lugol y azul de metileno.
Material biológico: hojas de *Elodea*, una cebolla y epitelio bucal.

Procedimiento

Elabora las siguientes preparaciones húmedas:

1. Toma una hoja de *Elodea* y deposítala en el centro de un portaobjetos, agrégale una gota de agua, coloca el cubreobjetos y observa al microscopio.

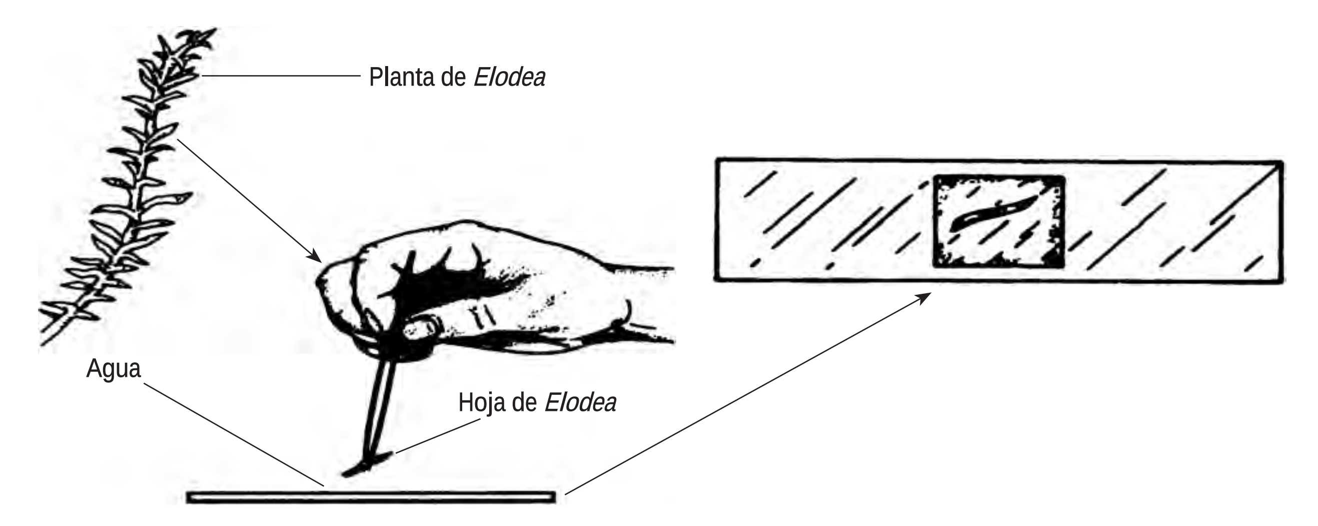


Figura 6.1 Preparación húmeda de una hoja de Elodea.

2. Coloca un fragmento de epidermis de cebolla en un portaobjetos, agrégale una gota de lugol, coloca el cubreobjetos y observa al microscopio.

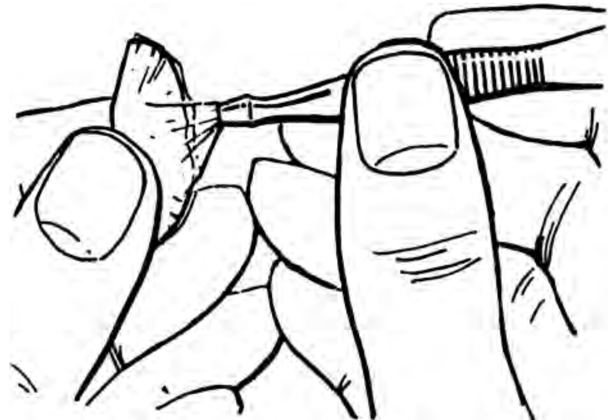


Figura 6.2 Observa como con la ayuda de unas pinzas se retira la epidermis de la cebolla.

3. En un portaobjetos, deposita una gota de azul de metileno, y con el extremo grueso de un palillo, frota la cara interna de tu mejilla, coloca este material en la gota de colorante, mueve rotativamente el palillo para que las células se separen, coloca un cubreobjetos y procede a observar.

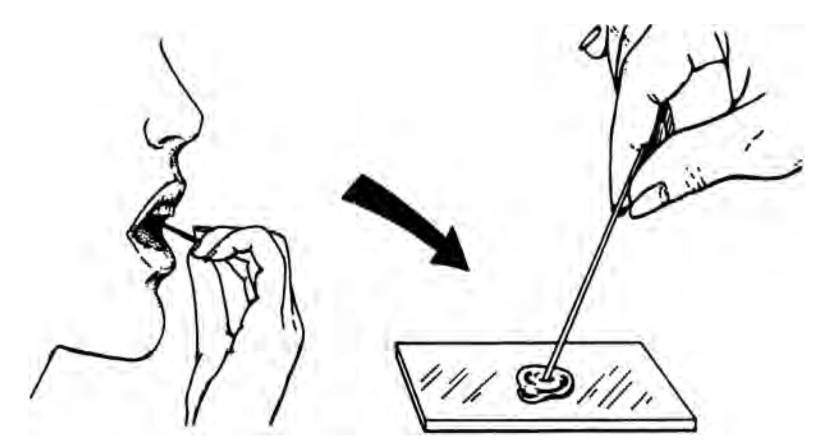
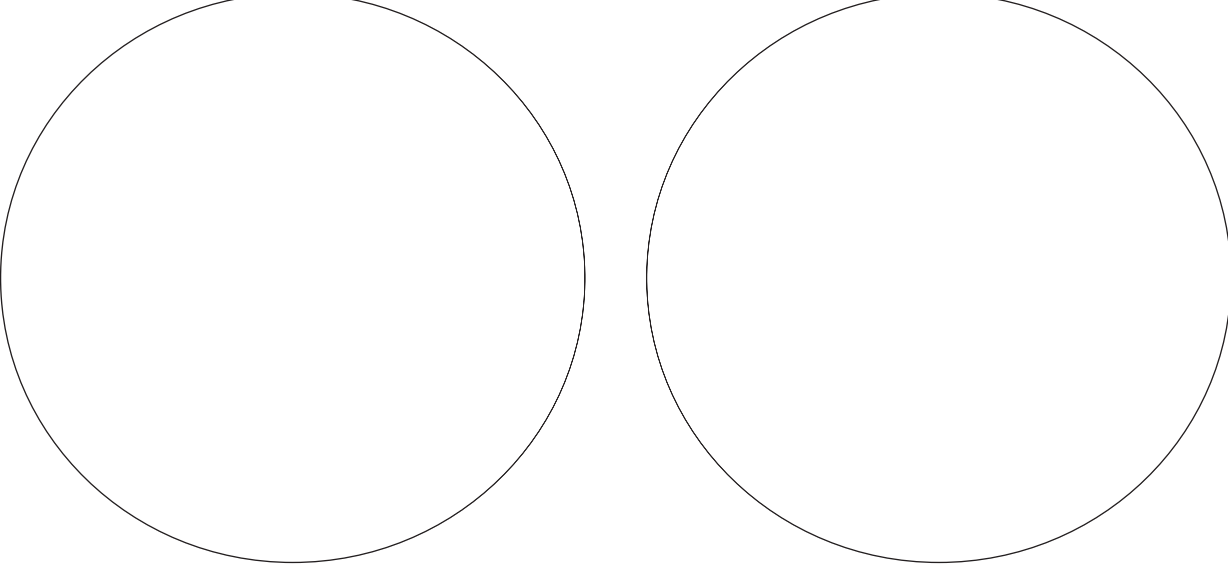


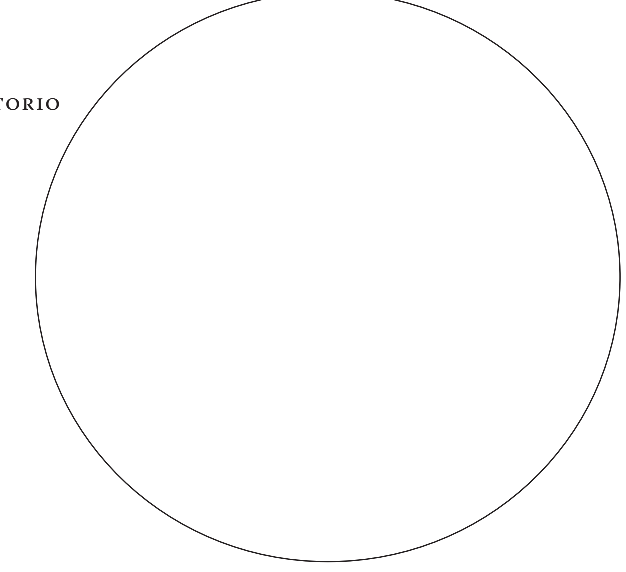
Figura 6.3 Elaboración de una preparación de células del epitelio bucal.

4. En los siguientes espacios, dibuja lo que observaste; nombra las partes identificadas



Dibujo 6.1 Células de Elodea.

Dibujo 6.2 Células de Cebolla.



Dibujo 6.3 Células de epitelio bucal

Análisis

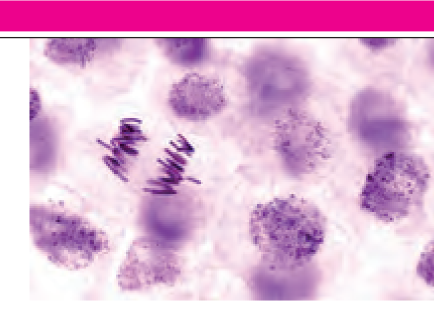
1. De las células vegetales observadas, ¿cuáles poseen cloroplastos? ________________
   ¿Cuáles no poseen cloroplastos?____
   Explica lo anterior____
2. De las células que observaste, ¿en cuál de ellas tuviste dificultad para observar el núcleo?
   ____.
3. En la epidermis de la cebolla y la hoja de *Elodea*, ¿qué apariencia tiene el contorno de las células y cómo se llama esta estructura?____
4. ¿Qué organelo observaste en las células del epitelio bucal?______________________
   ¿Qué organelos de las células vegetales no observaste en las células animales?____
   ¿Por qué?____
5. ¿Qué otros organelos tanto de la célula vegetal como animal no se observaron?_______
   ____
   ¿Por qué?____

Conclusión

Basándote en las diferencias y similitudes que observaste, escribe un párrafo manifestando tu conclusión.

____
____
____
____
____
____
____

ACTIVIDAD 7



Mitosis e interfase

Habilidades
Observar, comparar, identificar, dibujar.

Problema
¿Cómo identificas las fases de la mitosis?

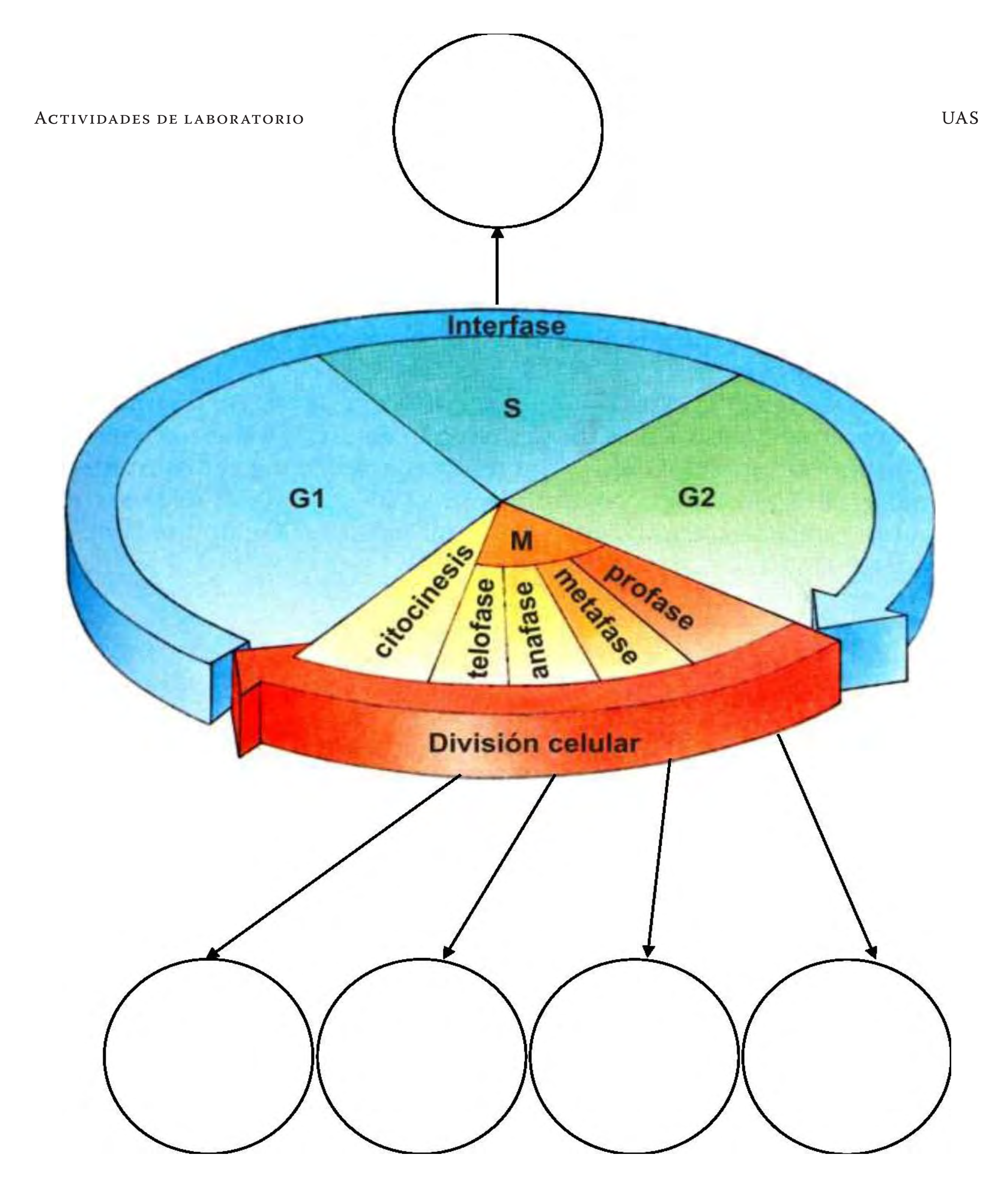
Estrategia
Durante esta investigación, observarás e identificarás cada una de las fases de la mitosis y la interfase.

Hipótesis
Debido a que la raíz de cebolla se encuentra en crecimiento, sus células se están reproduciendo por mitosis y se pueden observar todas las fases así como también la fase donde está duplicando todas sus moléculas y organelos (interfase).
En la profase desaparecen los nucléolos y la membrana nuclear, la cromatina se compacta y se llama cromosoma, aparece el huso mitótico. En la metafase los cromosomas se acomodan en el ecuador del huso mitótico. En la anafase, la mitad de los cromosomas, en forma de V migran hacia los polos. En la telofase reaparecen la membrana nuclear y los nucléolos, los cromosomas se vuelven laxos y se les llama cromatina.

Materiales
Equipo: diapositivas o láminas del ciclo celular y de la mitosis.

Procedimiento
1. Observa las diaposotivas de interfase y de las diferentes fases de la mitosis: profase, metafase, anafase y telofase.
2. Dibújalas en el círculo de la página siguiente.

Análisis
1. En esta fase del ciclo celular, es cuando se duplica el ADN, todas las demás moléculas y organelos:____



Conclusión

Basándote en tus dibujos, redacta un párrafo donde expreses las características de cada una de las fases de la mitosis.

____

____

____

____

ACTIVIDAD 8



Herencia humana

Habilidades

Observar, comparar, interpretar datos y deducir.

Problema

¿Qué características o rasgos humanos podemos determinar a simple vista y cómo se construye un árbol genealógico?

Estrategia

Durante esta investigación, determinarás tu fenotipo y genotipo para algunos rasgos; además, construirás un árbol genealógico familiar.

Hipótesis

Algunas características pueden ser fácilmente identificadas mediante la observación y comparación de las características visibles o fenotipo. Además, podemos deducir cuáles genes están presentes y reconocer el gen dominante o recesivo para esa característica. Al determinar qué genes están presentes, determinamos el genotipo.

Materiales

Diapositivas sobre algunas características hereditarias y un árbol genealógico.

Procedimiento

Parte 1. Tu fenotipo y genotipo de algunos rasgos comunes

Determina tu fenotipo y establece tu genotipo para los rasgos listados en la tabla 1. Recuerda que si tienes un rasgo dominante, entonces se porta cuando menos un gen dominante (heterocigoto dominante) o incluso los dos genes serán dominantes (homocigoto dominante). Si identificamos la característica recesiva es porque se porta los dos genes recesivos. Como no sabes si eres homocigoto dominante o heterocigoto dominante, escribe un guión (-) para el segundo gen; si posees el rasgo recesivo, anótalo como dos genes recesivos. Apóyate en la siguiente figura.



Figura 8.1 Algunas características hereditarias.

1. Con la ayuda de alguno de tus compañeros, revisa los lóbulos de tu oreja. El lóbulo de oreja despegado es dominante (L); las personas con el lóbulo pegado tienen el genotipo recesivo (ll). Anota tu fenotipo y genotipo en la tabla 1. Recuerda que si tienes un rasgo dominante, aún no puedes saber si eres homocigoto o heterocigoto, en tal caso, registra L -en la tabla.
2. Con la ayuda de tu compañero, revisa la línea de tu pelo. El "pico de viuda" es un rasgo hereditario que aparece como una saliente triangular de pelo en la frente. Esto se debe a la presencia de un gen dominante (W). Las personas que tienen la línea recta del pelo tienen el genotipo recesivo (ww). Anota tu fenotipo y genotipo en la tabla 1.
3. Un gen dominante (F) da la capacidad de separar el dedo pulgar del índice formando un ángulo de 90°. Las personas con los genes recesivos, ff, sólo forman un ángulo de 45°. Observa la separación entre tus dedos índice y pulgar. Anota tu fenotipo y genotipo en la tabla 1.

Tabla 1. Fenotipos y Genotipos de algunas características humanas

Característica	Fenotipo	Genotipo
Forma del lóbulo de la oreja		
Forma de la línea del pelo		
Posición del pulgar		

Parte II. Árbol genealógico

Un diagrama que muestra la transmisión de un rasgo a través de varias generaciones en una familia es llamado *árbol genealógico.* En la figura 8.2, la generación I está representada por los abuelos, la generación II, por los hijos y la generación III, por sus nietos. Estudia el siguiente árbol genealógico y aprende los símbolos.

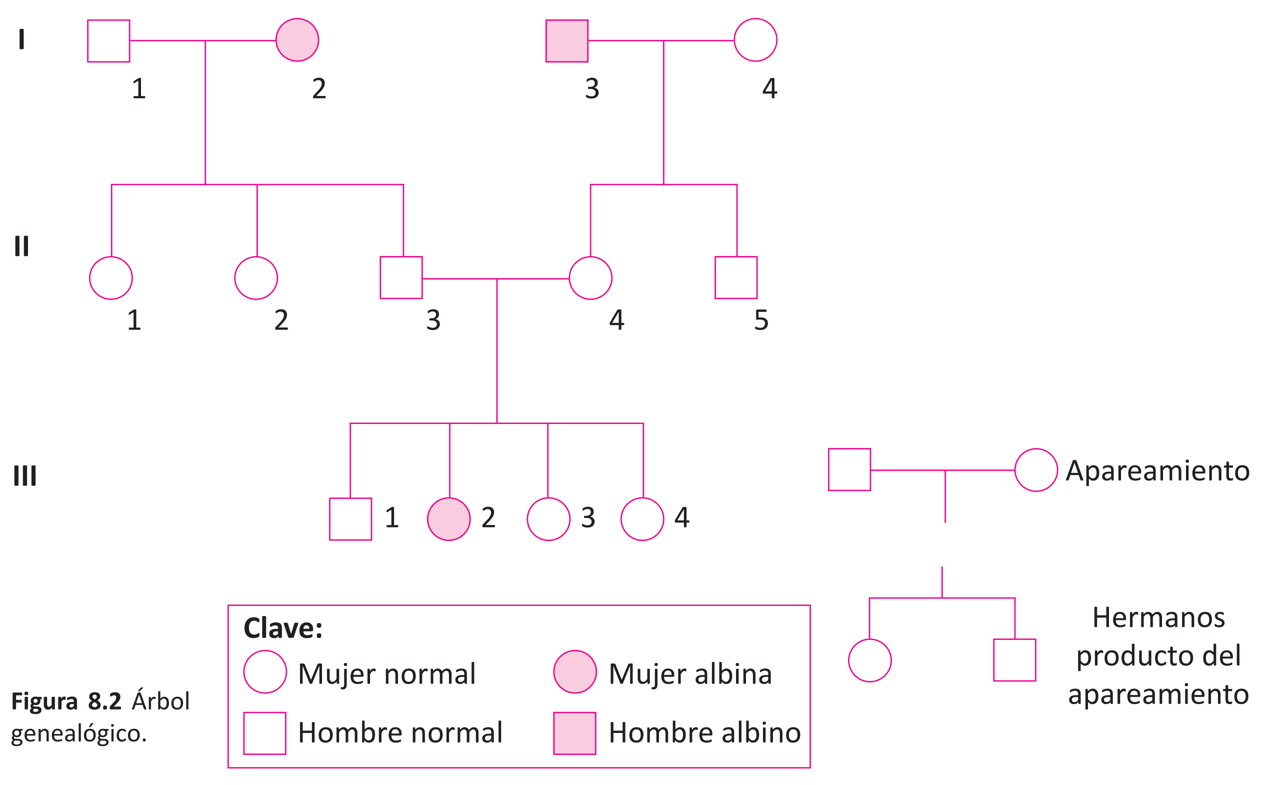


Figura 8.2 Árbol genealógico.

El albinismo en los seres humanos se manifiesta en forma de piel y pelo blanco y ojos rosados. Es causado por un gen defectuoso que codifica a su vez una enzima defectuosa que participa en la síntesis de la melanina (pigmento de la piel). Específicamente, el albinismo se presenta solo cuando el individuo tiene dos genes defectuosos (recesivos), ya que el gen de la pigmentación normal es dominante.

1. Usa la letra "D" para representar al gen dominante y "dd" para representar el genotipo de albinismo.
2. Basándote en el siguiente árbol genealógico, enlista los genotipos de cada individuo en el cuadro de la izquierda.

Individuo		Genotipo
I	1	
	2	
	3	
	4	
II	1	
	2	
	3	
	4	
III	1	
	2	
	3	

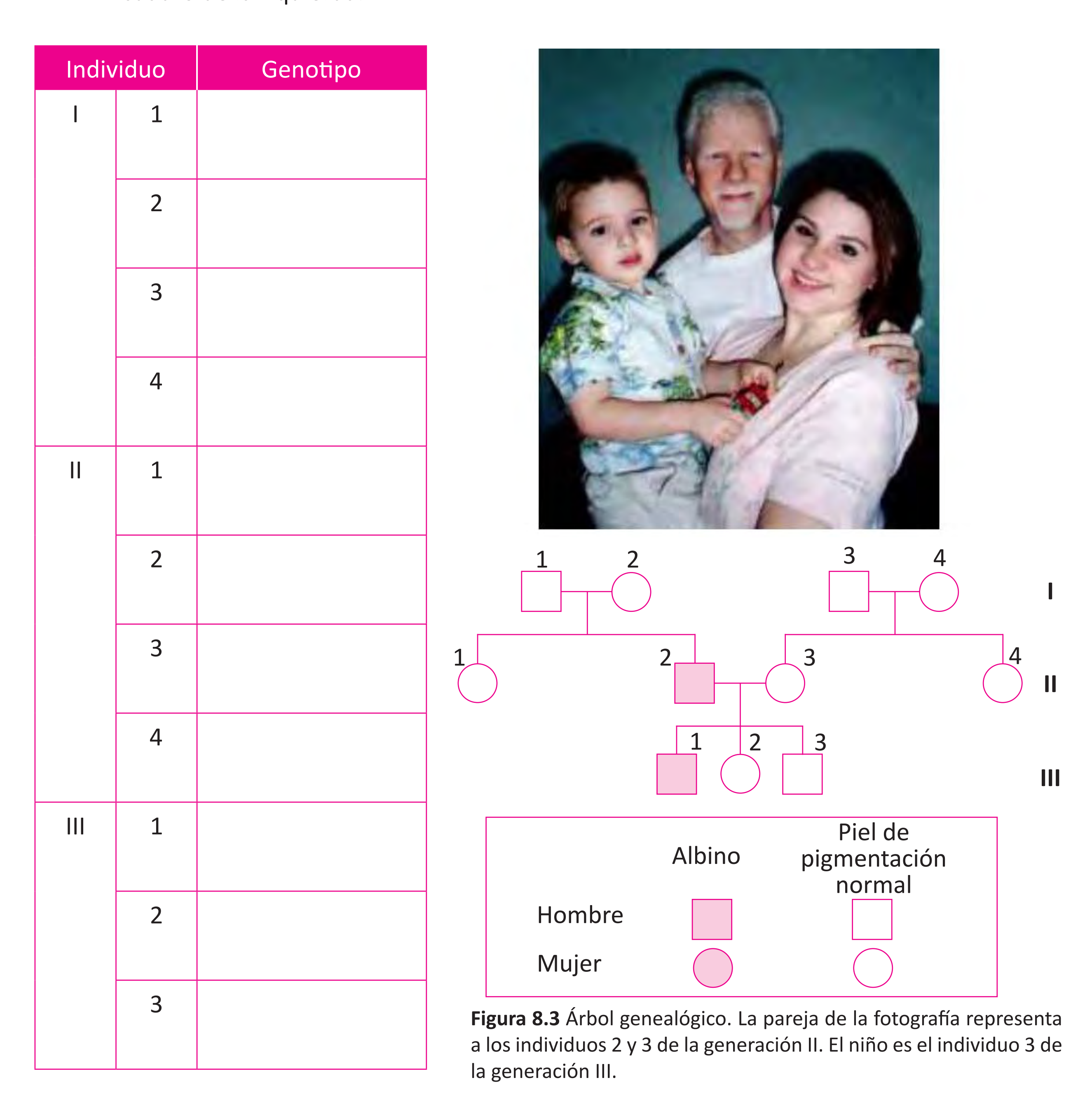


Figura 8.3 Árbol genealógico. La pareja de la fotografía representa a los individuos 2 y 3 de la generación II. El niño es el individuo 3 de la generación III.

Parte III. Árbol genealógico para un rasgo

1. En el espacio para dibujo 8.1, construye un árbol genealógico de tu familia para la característica **Pico de viuda (W)**. Elabóralo de dos generaciones (tus padres, tú y tus hermanos).

Dibujo 8.1

Análisis

Basándote en la tabla 1, contesta las primeras 5 preguntas.

1. ¿Cuáles son las características dominantes que encontraste en ti mismo?______________

____

2. ¿Cuáles recesivos? ____

____

3. ¿Cuál es el rasgo más común en tu clase?____

4. ¿Cuál es el rasgo menos común en tu clase?_________________________________
5. ¿Podrías esperar que el rasgo más común sea dominante?_________________________
6. En el árbol genealógico de la figura 8.3, los individuos 2 y 3 tienen tres hijos. ¿Cuántos son albinos? __________. El albinismo es una característica ______________________.
7. Mediante un cuadro de Punnet ¿cuál es la probabilidad de que sean albinos los individuos 1, 2 y 3 de la III generación? _____________.

Dibujo 8.2 Cuadro de Punnet.

Conclusión

Anota en los siguientes renglones tus conclusiones.

____
____
____
____
____
____
____
____
____
____
____
____
____

ACTIVIDAD 9

Cariotipo humano

Habilidades

Observar, deducir, manipular, comparar.

Problema

¿Cómo se diagnóstican las alteraciones cromosómicas?

Estrategia

Durante esta investigación aprenderás como se elabora un cariotipo humano y su utilidad.

Hipótesis

Los síndromes (Down, Klinefelter, Turner, etc.) se diagnostican mediante un cariotipo humano. Para elaborarlo, se realiza un estudio citogenético en el cual se cultivan linfocitos (un tipo de glóbulo blanco), se les rompe su membrana nuclear cuando se encuentran en metafase, para que queden visibles los cromosomas y poder contarlos y acomodarlos de acuerdo a su tamaño y forma en bloques (del A al G).

Materiales

Diapositivas de un cariotipo humano normal y de diversos cariogramas, tijeras y resistol.

Procedimiento

1. Saca una copia a los cariogramas de las páginas 259 y 260. Recórtalos y pégalos en los bloques correspondientes, guíate con el cariotipo humano sus cromosomas X y Y. normal de la figura 9.1

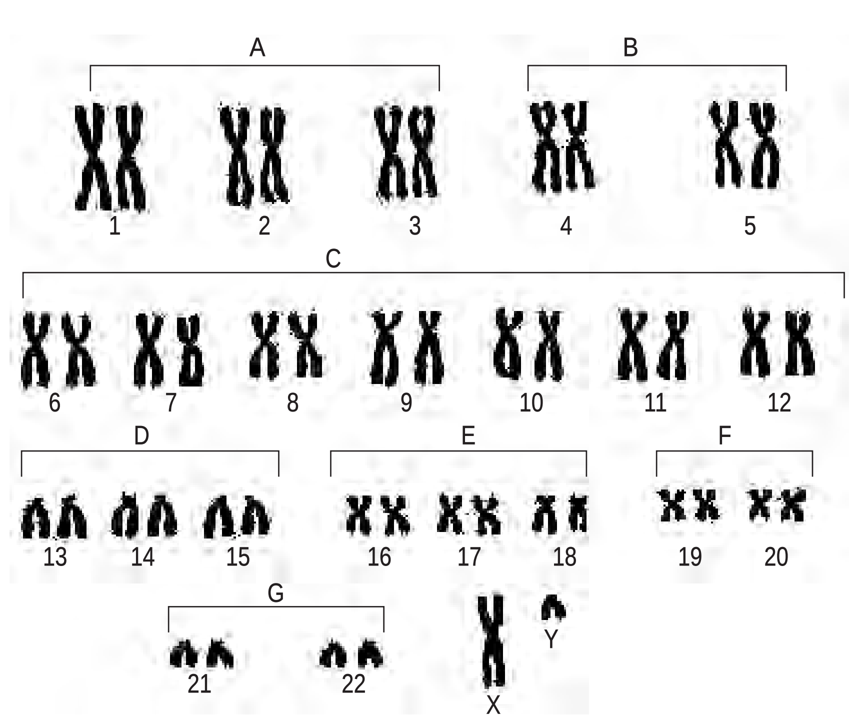


Figura 9.1 Cariotipo humano de un varón normal. Observa.

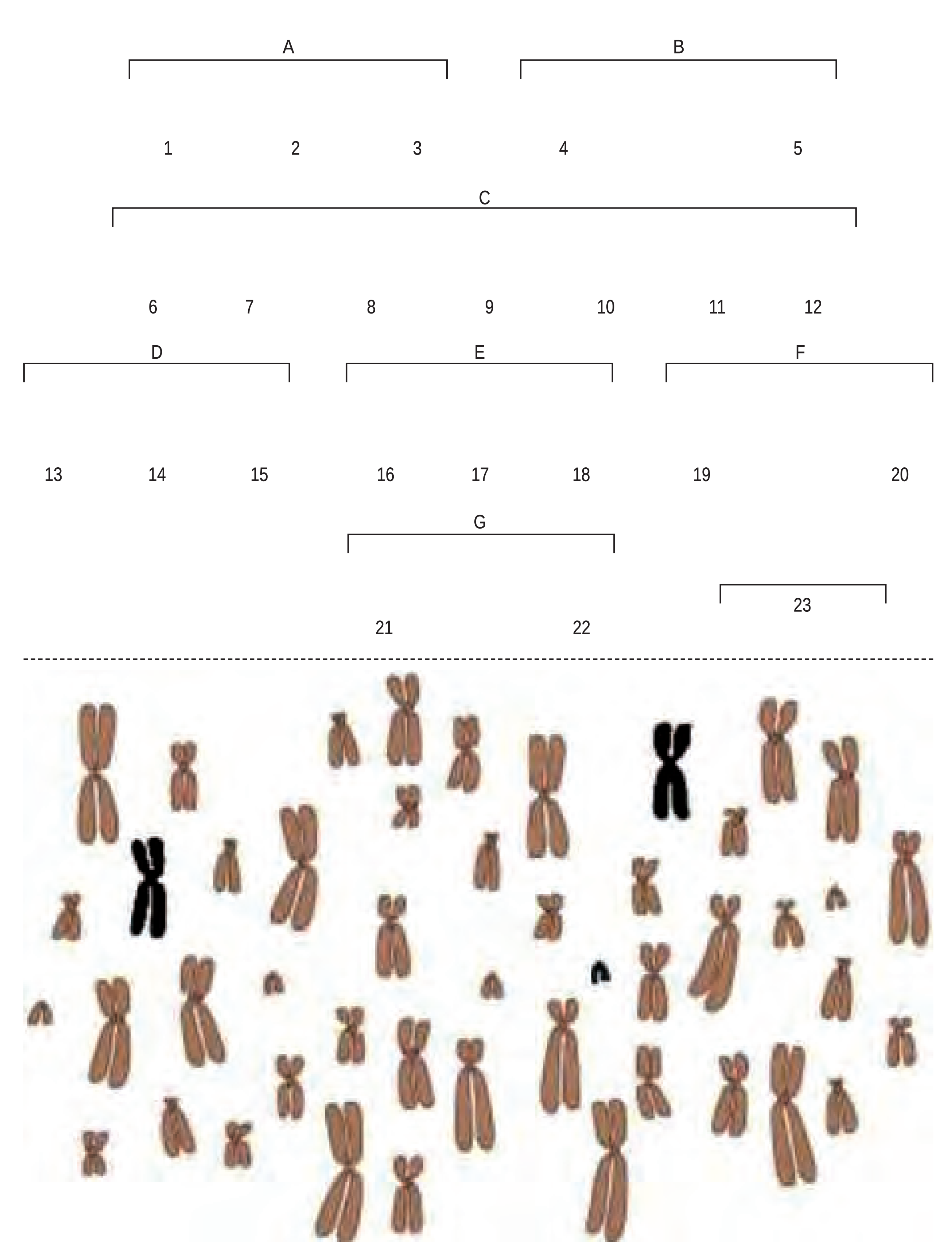


Figura 9.1 Cariograma para recortar, pegar y armar el cariotipo en la parte superior. Los cromosomas de color negro son los sexuales.

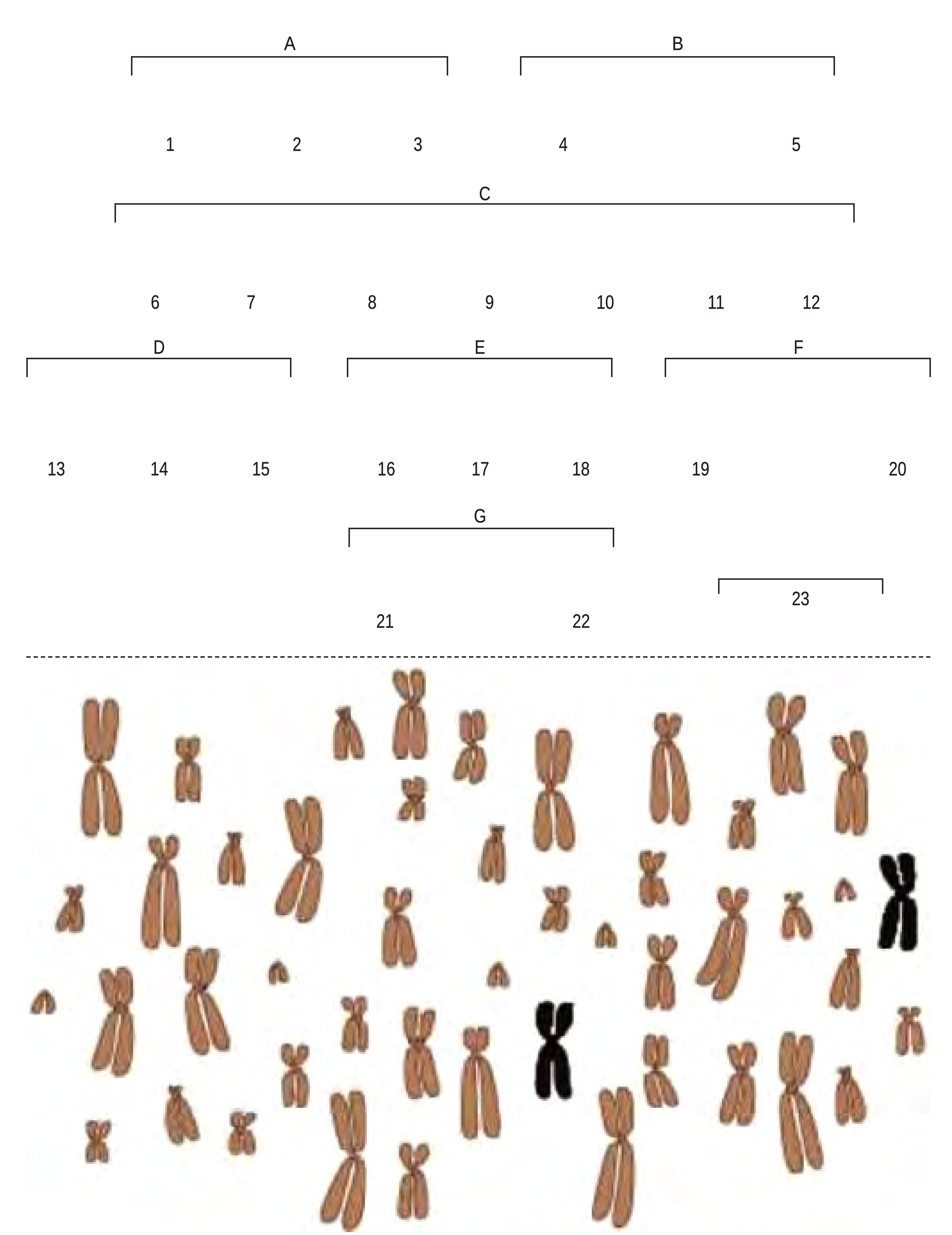


Figura 9.2 Cariograma para recortar, pegar y armar el cariotipo en la parte superior. Los cromosomas de color negro son los sexuales.

Análisis

Cariotipo I

1. ¿Cuántos cromosomas son en total? ___________.
2. ¿Cuántos son autosomas? ___________.
3. ¿Cuántos son cromosomas sexuales? ___________.
4. Su cariotipo es ______________________.
5. Por lo tanto, se trata del síndrome de ____.

Cariotipo II

1. El número total de cromosomas es ___________.
2. El número de autosomas es ___________.
3. El número de cromosomas sexuales es ___________.
4. Su cariotipo es ______________________.
5. Por lo tanto, se trata del síndrome de ________________, sexo ___________________.

Conclusión

Basándote en tus observaciones, redacta un párrafo donde expreses en cuál de los síndromes se altera los autosomas y en cual se alteran los cromosomas sexuales.

____

____

____

____

____

____

____

____

____

____

____

____

____

____

____

ACTIVIDAD 10



Genes y relaciones evolutivas

Habilidades

Analizar, comparar, anotar información e inferir.

Problema

¿Puede la secuencia de los genes ser utilizada para llegar a determinar relaciones evolutivas?

Estrategia

Durante esta investigación, anotarás el ADN, ARNm y las secuencias de aminoácidos para la proteína hemoglobina en tres diferentes animales. También compararás las secuencias e inferirás las relaciones evolutivas entre dichos organismos.

Hipótesis

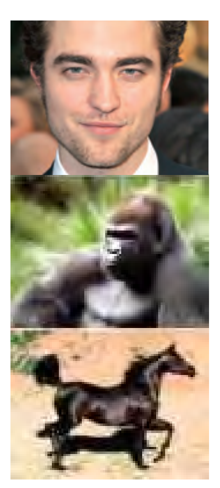
La secuencia de los genes puede ser utilizada para ayudar a determinar relaciones evolutivas entre organismos.

Materiales

Papel cuadriculado y lápiz.

Procedimiento

1. La figura 10.1 muestra las secuencias parciales del ADN de la proteína hemoglobina en un humano, en un gorila y en un caballo. Convierte las secuencias ADN en secuencias ARNm. Escribe cada secuencia ARNm en la hoja de papel cuadriculado que se te proporciona.



Humano GCAGAGGAACCGCTACAAGAGCATACGCAAGAG CGGGTAGTAAAACCATACCTTAAATGGGG GGGCCACCTTCGGCGGATACTCTTTCAA
Gorila GAGGAGGAACCGCTACAAGAGCATACGCAA GAACGCGTAGTAAAACCATACCTTAAATGGGGG GGCCACCTTCGGCGGATACTCTCTTTCA
Caballo GCAGAGGAACCGCTACAAGAGCGGGAGCAA GAACGCGCAGTAAAACCTTACCTAAAATGCGG GCTTGACCTTCGAAGTATACTCTTTCAT

Figura 10.1 Secuencia parcial de un gen de la proteína hemoglobina de tres mamíferos.

2. Utiliza el código genético para cambiar las secuencias de ARNm en secuencias de aminoácidos. Escribe la secuencia de aminoácidos en papel cuadriculado de tal manera que cada codón o triplete de ARNm se alinee con su respectivo aminoácido.

3. Encierra en un círculo los tripletes en las secuencias de ARNm en el caballo y el gorila que difieran de los tripletes en la misma posición de la secuencia del ARNm humano. Cuenta el número de tripletes diferentes.
4. Encierra en un círculo los aminoácidos de las secuencias de aminoácidos en el caballo y en el gorila que difieran de las secuencias de aminoácidos del humano. Cuenta el número de aminoácidos diferentes y anótalos.

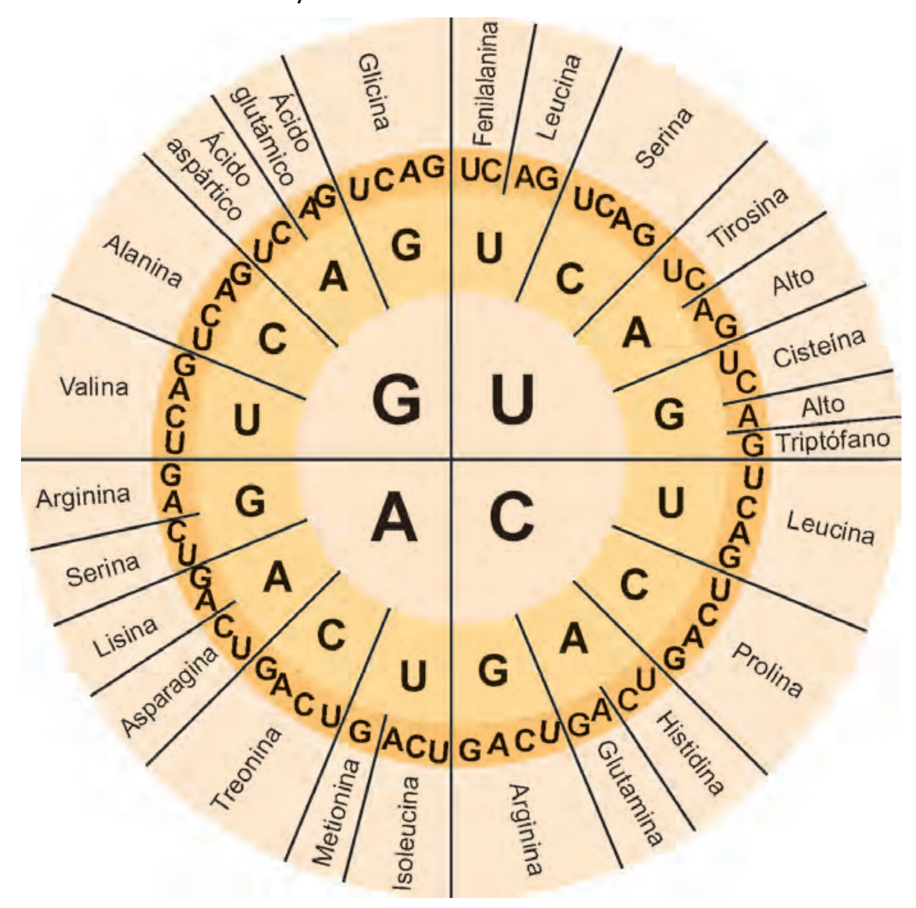


Figura 10.2 Código genético. Para decodificar un codón, inicia por el centro del círculo y continua hacia afuera.

Análisis

1. ¿Cuántos tripletes difieren entre las secuencias ARNm del humano y del gorila?_______.
2. ¿Cuántos tripletes difieren entre las secuencias ARNm del humano y el caballo?_______.
3. ¿Cuántos aminoácidos del humano son diferentes a los del gorila?__________________.
4. ¿Cuántos aminoácidos del humano son diferentes a los del caballo?________________.
5. ¿Cuál par de organismos está más cercanamente relacionado, basado en sus secuencias de ARNm y de aminoácidos?____.

ARNm Humano			Aminoácidos Humanos	ARNm Gorila			Aminoácidos Gorila	ARNm Caballo			Aminoácidos Caballo
C	G	U	Arginina	C	U	C	Leucina	C	G	U	Arginina

Conclusión

Escribe un párrafo con tu conclusión. Apóyate con tus observaciones.

____

____

____

____

____

____

____

____

____

____

____

____

____

____

____

Bibliografía

- Alexander, P.; Bahret, M.J. *et al. Biología.* Estados Unidos: Prentice Hall, 1992.
- Arsuaga, J.L. "Cuando salimos de África". *Muy Interesante*. Num. 19, 1998.
- Audesirk, T. y Audesirk, G. *Biología 1. Unidad en la diversidad.* 4ta edición. México: Prentice Hall, 1996.
- Audesirk, T. y Audesirk, G. *Biología3. Evolución y Ecología.* 4ta edición. México: Prentice Hall, 1998.
- Audesirk, T.; Audesirk, G.y Byers, B.E. *Biología. Ciencia y naturaleza.* México: Pearson, 2004.
- Avers, Charlotte J. *Biología celular.* México: Iberoamericana,1995.
- Campbell, N.A. *et al. Biología. Conceptos y relaciones.* 3ra edición. México: Pearson Educación, 2001.
- Cerril, Knott. "Orangutanes al natural". *National Geographic* en español. Vol 3, Núm.2, agosto de 1998.
- Coperías, E.M. "Esto es un hombre. Los 18 minerales de la vida". *Muy Interesante.* México: año XIV, núm. 3, febrero 1995.
- Currie, P. J. " The Great Dinosaur Egg Hunt". *National Geographic* en inglés. Vol 189, núm. 5, 1996.
- Curtis, H. *et al. Biología.* España: Médica Panamericana, 2000.
- Curtis, H. *et al. Invitación a la Biología.* 6ta edición, Buenos Aires: Médica panamericana, 2006.
- *El mundo de la Biología,* tomo 2. Barcelona: Océano- Éxito, 1985.
- Enciclopedia juvenil Grijalvo. *Biología* tomo 2. Barcelona: ediciones Grijalbo, 1981.
- Essenfeld, B.E.;Gontang, C.R. y Moore, R. *Biology.* California: Addison- Wesley, 1994.
- Fachini F. *Origen y Evolución. El hombre.* Milán: Jaca Book spa, 1994.
- Freeman, Scott. *Biología.* 3ra edición. Madrid: Pearson Educación, 2009.
- Fried, H.G. *Biología.* México: McGraw Hill, 1995.
- Garassino, A. *Origen y Evolución. La vida.* Milán: Jaca Book spa, 1994.
- Holguín, Z. G. "Mapa completo del genoma humano". *La jornada, lunes en la ciencia,* 17 de abril de 2000.
- Holloway, M. "Profile: Mary Leakey". *Scientific American.* Octubre de 1994.
- Lachtermacher, Triunfo I M. "La evolución es cosa de tu cabeza". *¿Cómo ves?* México: UNAM, año 4, núm.45, agosto de 2002.

- Lehninger, *et al. Principios de Bioquímica.* 3ra edición. Omega, 2000.
- Lewontin, R.C. "La adaptación". *Investigación y Ciencia.* Noviembre de 1978.
- Mader, S. *Biology.* 9na edición. Estados Unidos: McGraw Hill, 2007.
- Margulis, L. y Schwartz, K. V. *The Five Kingdoms. A Ilustrated Guide o the Phyla of life on Earth.* 3ra Nueva York: Freeman, 1999.
- Martínez, M.; Cortés, L. y Luján, E. *Maravillas de la biología 2.* México: McGraw Hill, 2006.
- Mayr, E. *Así es la Biología.* Madrid: Debate, 1998.
- Miller, K. y Levine, J. *Biología1. La naturaleza de la vida.* México: Pearson Educación, 2007.
- Miller, K. y Levine, J. *Biología.* Estados Unidos: Pearson Prentice Hall, 2004.
- Miller, K. y Levine, J. *Biología.* Estados Unidos: Pearson Prentice Hall, 2010.
- Oram, R. F. *Biology. Living Systems.* Ohio: Glencoe/ Macmillan/ McGraw Hill, 1994.
- Otto, J.H. y Towle, A. *Biología moderna.* México: McGraw Hill, 1995.
- Ruiz, R. y Ayala, F.J. *El método en las ciencias. Epistemología y Darvinismo.* México: Fondo de Cultura Económica, 1998.
- Sherman, I.W. y Sherman, V.G. *Biología. Perspectiva Humana.* México: McGraw Hill, 1994.
- Solomon, E. P.; Ville, C.A. y Davis, P. W. *Biología.* México Interamericana, 1987.
- Solomon, E.; Berg, L. y Martin, D. *Biología.* 8va edición. China: McGraw Hill Interamericana, 2008.
- Solomon, E. P; Berg, L. y Martin, D. *Biología.* 5ta edición. México: McGraw Hill Interamericana, 2001.
- Starr, C. y Taggart, R. *Biología. Unidad y diversidad de la vida.* México: Thomson editores, 2004.
- Vázquez Conde, R. *Biología 1.* México: Publicaciones Cultural, 1999.
- Ville, Claude A. *Biología.* México: McGraw Hill, 1997.

Procedencia de las ilustraciones

Unidad 1

Figura 1.1, 1.4 y 1.6 tomadas de Miller, K. y Levine, J. Biología.

Figura 1.3 tomada de Essenfeld-Gontand-Moore, Biology.

Fiigura 1.7 tomada de Heimler-Daniel-Lockard, Facus on life science.

Figura 1.8 tomada de calendario 2010 Planeta Tierra/BBC.

Figura 1.9 tomada de Audesirk, T. y Audesirk, G. Biología 3. Evolución y Ecología.

Figura 1.10 tomada de Audesirk, T. y Audesirk, G. y Byers, B.E. Biología. Ciencia y naturaleza.

Figura 1.1 tomada de Oram, R.F. Biology. Living Systems.

Figuras tomadas de internet

Figura de portadilla http://www.bioparcvalencia.es/site/wp-content/uploads/2011/10/Bioparc-Valencia-Jirafas-recorriendo-la-Sabana-octubre-2011.jpg

Fiigura 1.2 http://abusoinfantil-pediatriasocial.blogspot.mx/2011/11/vacunas.html

Figura 1.5 http://sabiduriainutil.files.wordpress.com/2009/05/1243540607489edit.jpg

Unidad 2

Figura de portadilla tomada Miller, K. y Levine, J. Biología.

Figuras 2.1 y 2.4 tomadas de Oram, R.F. Biology. Living Systems.

Figuras 2.2, 2.3, 2.8, 2.15, 2.16 y 2.18 tomadas de Audesirk, T. y Audesirk, G. Biología1.

Figura 2.5 tomada de Miller, K. y Levine, J. Biología.

Figura 2.6 tomada de Freeman, S. Biología.

Figura 2.7 tomada de Curtis, H. y Barnes, S. Biología.

Figura 2.9 tomada de Campbell, N. A. Biología.

Figuras 2.10, 2.11 y 2.12 tomadas de Audesirk, T. y Audesirk, G. Biología1.

Figuras 2.13 y 2.14 tomadas de Mader, S. Biology.

Figuras tomadas de internet

Figura 2.17 http://dalsgaard.eu/2009-04.Mexico/2009-04-06.077.Mexico.Villahermosa.La.Venta.Tucan.PS2.jpg

Figuras 2.19 y 2.20 http://1.bp.blogspot.com/_Og1JC2lq7dw/TPAQ833nWuI/AAAAAAAAAAY/lg-CH2IVEKrY/s1600/arn-y-adn.jpg

http://www.fisicanet.com.ar/biologia/introduccion_biologia/ap1/nucleotidos_y_acidos_nucleicos02.jpg

Unidad 3

Figura de portadilla tomada de Miller, K. y Levine, J. Biología.

Figura 3.2 tomada de Enciclopedia Juvenil Grijalbo. Biología.

Figura 3.3 tomada de Cronquist, A. Botánica básica.

Figura 3.4 y 3.5 tomadas de Starr, C. y Taggart, R. Biología. Unidad y diversidad de la vida.

Figura 3.6 adaptada de Curtis, H. et al. Biología y Alexander, P. Biología.

Figuras 3.1, 3.7, 3.21, 3.22, 3.24, 3.29, 3.31, 3.32, 3.34, 3.39 y 3.42 tomadas de Audesirk, T. y Audesirk,G. Biología 1. Unidad en la diversidad.

Figutas 3.9, 3.10 y 3.57 tomadas de Audesirk, T.; Audesirk, G.y Byers, B.E. Biología. Ciencia y naturaleza.

Figuras 3.8, 3.15, 3.38 y 3.45 tomadas de Curtis, H. y Barnes, S. Biología.

Figura 3.11 tomada de Alexander, P.Biología/ Sherman-Sherman. Biología. Perspectiva humana/ Starr, C. y Taggart, R. Biología. Unidad y diversidad de la vida.

Figuras 3.13 y 3.16 tomadas de Essenfeld-Gontand-Moore, Biology.

Figuras 3.17, 3.18, 3.19, 3.20, 3.23, 3.27, 3.28 y 3.33 tomadas de Oram, R.F. Biology. Living Systems.

Figuras 3.25, 3.36, 3.41, 3.50. 3.51, 3.52 y 3.54 tomadas de Miller, K. y Levine, J. Biología.

Figura3.30 tomada de Solomon, Berg, Martin. Biología, 8ª edición.

Figura 3.40, 3.43,y 3.47 tomadas de Mader, S. Biology.

Figura 3.48 tomada de Alexander, P. et al. Biología.

Figuras 3.53 y 3.56 tomadas de Miller, K. y Levine, J. Biología1. La naturaleza de la vida.

Figura 3.55 tomada de Curtis, H. et al. Invitación a la Biología.

Figuras tomadas de internet

Figura 3.3 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/78/Matthias_Jakob_Schleiden_Litho.jpg

Figura 3.12 http://f3rnandoflores.site50.net/blog/wp-content/uploads/2011/08/EscherichiaColi_NIAID.jpg

http://mycozynook.com/4_1parameciumSEM.jpg

http://www.bewie.de/Suchbar/Monatsbilder/Images/1008_Stentor1.JPG

http://www.lareserva.com/home/fimage/dia01.jpg

Figura 3.14 http://flickrhivemind.net/Tags/greenalgae/Interesting

Figura 3.37 http://www.edukativos.com/preparatoria/el-citoplasma-y-el-citoesqueleto.html

Figura 3.44 http://neetciencia.com/¿las-plantas-pueden-sentir/

Unidad 4

Figura de portadilla de Starr, C. y Taggart, R. Biología. Unidad y diversidad de la vida.

Figura 4.1 y 4.37 tomadas de Miller, K. y Levine, J. Biología1. La naturaleza de la vida.

Figuras 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.11, 4.12, 4.13, 4.15, 4.19, 4,21, 4.24, 4.25, 4.27, 4.28, 4.33, 4.35 y 4.39 y tabla 4.1 tomadas de Oram, R.F. Biology. Living Systems.

Figura 4.6 adaptada de Alexander, P. et al. Biología.

Figuras 4.8, 4.16 y 4.17 adaptadas de Oram, R.F. Biology. Living Systems.

Figura 4.7 tomada de Essenfeld-Gontand-Moore, Biology.

Figuras 4.9, 4.10 y 4.14 adaptadas de Essenfeld-Gontand-Moore, Biology.

Figura 4.22 tomada de Coperias, A.M. Muy interesante.

Figuras 4.23 y 4.29 tomadas de Miller, K. y Levine, J. Biología1. La naturaleza de la vida.

Figuras 4.26 y 4.30 tomadas de Otto, S.H. y Towle, A. Biología moderna.

Fiiguras 4.36, 4.37 y 4.40 tomadas de Audesirk, T.; Audesirk, G.y Byers, B.E. Biología. Ciencia y naturaleza.

Figura 4.31 tomada de Alexander, P.et al. Biología.

Figura 4.38 tomada de Freeman, Scott. Biología.

Figura 4.39 y 4.41 tomadas de Miller, K. y Levine, J. Biología.

Figuras tomadas de internet

Figura 4.18 http://www.originalstore.it/prodotti/MICROBI-OVULO/MICROBI-OVULO_3318.jpg

http://www.telefuerza.com/sabias_que/archivos/c3feda_espermatozoide%205.jpg

Unidad 5

Figura de portadilla tomadas de Currie, P.J. National Geographic en inglés.

Figura 5.1 y 5.19 tomada de Currie, P.J. National Geographic en inglés.

Figuras 5.2, 5.6, 5.8, 5.14, 5.26, 5.34 y 5.40 tomadas de Oram, R.F. Biology. Living Systems.

Figura 5.3 tomada de ¿Qué quieres saber de la ciencia? tomo IV, 1ª edición, Editorial Océano.

Figura 5.5 tomada de Curtis, H. et al. Invitación a la Biología.

Figura 5.9 tomada de Garassino, A. Origen y Evolución. La vida.

Figura 5.10 tomada de Sherman, I. W y Sherman V.G. Biología. Perspectiva Humana.

Figura 5.11 tomada de Miller, K. y Levine, J. Biología. Biología III. Evolución y Ecología.

Figura 5.12 Adaptada de Curtis, H. et al. Invitación a la Biología y Mader, S. Biology.

Figura 5.13, 5.15 y 5.42 tomadas de Mader, S. Biology.

Figura 5.16 tomada de Essenfeld-Gontand-Moore, Biology/ de Oram, R.F. Biology. Living Systems/ Solomon, Berg, Martin. Biología, 8ª edición.

Figura 5.17, 5.18 y 5.21 tomadas de Enciclopedia Juvenil Grijalbo.

Figura 5.20 tomada de Alexander, P. et al. Biología.

Figura 5.22 tomada de Alexander, P. et al. Biología/ Mader, S. Biology.

Figura 5.23 y 5.43 tomada de Solomon, Berg, Martin. Biología, 8ª edición.

Figura 5.24 tomada de Ville, C. Biología.

Figura 5.25, 5.28 y 5.44 tomadas de Audesirk- Audesirk- Byers, B.E. Biología. Ciencia y naturaleza.

Figura 5.29 tomada de Lewontin R.C. en Investigación y ciencia. Nov., 1978.

Figuras 5.41 tomadas de Sherman-Sherman. Biología. Perspectiva humana.

Figuras 5.35, 5.36 y 5.39 tomadas de Fichini, F. Origen y Evolución. El hombre.

Figura 5.37 tomada de Holloway, M. revista Scientific American, 1994.

Figua 5.38 tomada de Arsuaga, J. revista Muy interesante, No. 19, 1998.

Figuras tomadas de internet

Figura 5.7 http://fitopasion.blogspot.mx/2012/01/los-fosiles-mas-antiguos-del-mundo.html

Figura 5.14 http://www.lessing-photo.com/dispimg.asp?i=39180169+&cr=13&cl=1

Figura 5.27 http://en.wikipedia.org/wiki/File:Friendly_Male_Koala.JPG

http://www.taringa.net/posts/ecologia/11163060/especies-en-via-de-extincion-mas-causas.html

Fugura 5.30 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/93/Ring.tailed.lemur.situp.arp.jpg/442px-Ring.tailed.lemur.situp.arp.jpg

Figura 5.31 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ec/Tarsier_Hugs_Mossy_Branch.jpg

Figura 5.32 http://www.natura-digital.com/backup/index.php/javascript/historia-natural/94-fauna/125-los-monos-ateles

Figura 5.33 http://virunga.webs.com/CAK96B0P.jpg

http://cometivedo.files.wordpress.com/2008/07/gorila.jpeg

http://www.animalesextincion.es/images/noticias/1610080113_chimpance.jpg

http://www.fotonatura.org/revista/fotos/issue25/GIBON.jpg

Figura 5.43 http://4.bp.blogspot.com/_HZ-TNJec_BY/S8p7KnWhWQI/AAAAAAAABck/W3bK-smeIAuU/s1600/51-Lascaux.jpg

Portadilla de Actividades de laboratorio

http://i00.i.aliimg.com/img/pb/952/703/303/303703952_736.jpg

Biología básica, *de Alma Rebeca Galindo Uriarte, Roberto C. Avendaño y Amada Aleyda Angulo Rodríguez.*
Se termino de imprimir en el mes de mayo del 2012, en los talleres de SERVICIOS EDITORIALES ONCE RÍOS, Río Usumacinta No. 821, Col. Industrial Bravo, 7 12-29-50. Culiacán, Sinaloa.

Tiraje: 19,000 ejemplares.